



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PILOTO CON
ADSORBENTE A BASE DE CARBÓN ACTIVADO PARA
RETENCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLATILES
BENCENO, TOLUENO ETILBENCENO Y XILENO (BTEX) EN AIRE
AMBIENTE PARA EL COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSHUFINDI”**

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES:

OROZCO VALENCIA ELIANA PAQUITA

VÁSCONEZ PEÑAFIEL AMANDA ELIZABETH

DIRECTOR:

ANDRADE AVALOS MÓNICA LILIAN

RIOBAMBA – ECUADOR

Abril - 2016

©2016, Eliana Paquita Orozco Valencia y Amanda Elizabeth Vásquez Peñafiel

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que el Proyecto Técnico: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PILOTO CON ADSORBENTE A BASE DE CARBÓN ACTIVADO PARA RETENCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES BENCENO, TOLUENO ETILBENCENO Y XILENO (BTEX) EN AIRE AMBIENTE PARA EL COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSHUFINDI”, de responsabilidad de las Srtas. Eliana Paquita Orozco Valencia y Amanda Elizabeth Vásquez Peñafiel, ha sido minuciosamente revisado por el Director y Asesor del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Ing. Mónica Andrade

**DIRECTOR DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Hugo Calderón

**MIEMBRO DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

“Nosotras, ELIANA PAQUITA OROZCO VALENCIA Y AMANDA ELIZABETH VÁSCONEZ PEÑAFIEL, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente proyecto; y el patrimonio del Trabajo de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO”

ELIANA PAQUITA OROZCO VALENCIA
AMANDA ELIZABETH VÁSCONEZ PEÑAFIEL

DEDICATORIA

A Dios y a ti San Pedrito, por ser mi fortaleza y por haberme brindado sabiduría para poder afrontar los retos que se han presentado durante mi carrera estudiantil.

Especialmente a mi padre Homero Orozco por los valores que ha inculcado en mí, por sus consejos sabios, su apoyo incondicional y por enseñarme que con la Fe de Dios todo se puede. A mi madre Blanca Valencia por su paciencia y amor, por hacer de mi lo que hoy soy una mujer de lucha y perseverancia, por sus palabras de aliento para alcanzar mis objetivos.

A mis hermanos Edison y Verónica quienes han estado en los momentos más importantes de mi vida brindándome su apoyo y amor incondicional. A mis sobrinos Romina y Sebastián por alegrar mi vida y llenarme de amor. A mis cuñados Angie y Vicente por su apoyo y ánimos para alcanzar mis sueños.

Eliana Paquita Orozco Valencia

Dedico esta Tesis a mis padres José Vásquez y Fanny Peñafiel, que con su apoyo incondicional y consejos han ayudado a forjar mi futuro, siempre serán mi mayor inspiración y las personas más importantes de mi vida, gracias por recibirme cada semana con todo su cariño y despedirme de igual manera, por escucharme y darme fuerzas cuando tuve ganas de dejar todo a un lado.

A mis hermanos Heriberto, Wilson, Amador y Mónica Vásquez quienes me cuidaron, protegieron y guiaron para hacer de mi la persona que soy, porque de cerca o de lejos siguen pendientes de mí. A mis sobrinos David, Josué, Jesús, Leandro, Emilio y Amador, por sus muestras de cariño y sus sonrisas que me alegraban después de largas jornadas de estudio lejos de mi familia.

A mis cuñadas Mariela, Cecilia, Cristina y mi cuñado Darwin gracias por ayudarme en los momentos menos esperados con su apoyo y consejo. A mis amigos lo cuales me acompañaron durante estos años quienes fueron los grandes compañeros de aventuras, risas, tristezas y frustraciones.

Amanda Elizabeth Vásquez Peñafiel

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por guiar nuestras vidas y llevarnos alcanzar exitosamente este sueño tan anhelado para nosotras.

A nuestros padres por ser nuestra primera escuela, refugio y fortaleza a lo largo de nuestra formación profesional y personal.

Al Dr. Luis Villacreces Jefe del Laboratorio de Seguridad, Salud y Ambiente LABSSA EPPETROECUADOR por la apertura para realizar el presente trabajo de investigación y su apoyo a lo largo del mismo en conjunto con el personal que labora en las instalaciones.

Un agradecimiento especial a nuestra Directora de Trabajo de Titulación Ing. Mónica Andrade por impartirnos sus conocimientos y su apoyo constante durante la realización del Trabajo de Titulación.

Al Ing. Hugo Calderón por la dedicación y apoyo que nos ha brindado en el desarrollo del presente Trabajo de Titulación.

A todos nuestros familiares, amigos, maestros y personas quienes nos han brindado su apoyo durante nuestra etapa estudiantil.

Eliana Paquita Orozco Valencia

Amanda Elizabeth Vásquez Peñafiel

TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDO

PORTADA

DERECHO DE AUTOR	i
HOJA DE FIRMAS	ii
HOJA DE RESPONSABILIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
TABLA DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
CAPÍTULO 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1 Identificación del problema	1
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Línea Base del proyecto.....	3
1.3.1 Caracterización del Carbón Activado	3
1.3.2 Diseño del dispositivo para toma de muestras.....	4
1.4 Beneficios directos e indirectos	5
1.4.1 Directos	5

1.4.2 Indirectos	5
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	6
2.1 Objetivo General.....	6
2.2 Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO 3. ESTUDIO TÉCNICO	7
3.1 Localización del proyecto.....	7
3.2 Ingeniería del proyecto	7
3.2.1 Propuesta.....	7
3.2.2 Diseño de Adsorbentes	9
3.2.2.1 Consideraciones de diseño.....	9
3.2.2.2 Masa de contaminante en el aire.....	10
3.2.2.2.1 Caudal de aire	10
3.2.2.2.2 Temperatura de transporte de la muestra.....	11
3.2.3 Selección del Adsorbente.....	11
3.2.3.1 Cálculo del caudal.....	15
3.2.4 Selección del tubo	15
3.2.4.1 Selección del material.....	15
3.2.4.2 Dimensionamiento	16
3.2.5 Selección del pre-filtro.....	17
3.2.5.1 Selección del material.....	17
3.2.5.2 Dimensionamiento	18

3.2.6 Selección Tubería conductora de aire	18
3.2.6.1 Selección del material	18
3.2.6.2 Dimensionamiento	20
3.2.6.2.1 Longitud	20
3.2.6.2.2 Radio mínimo de curva	20
3.2.6.2.3 Esfuerzo	21
3.2.6.2.4 Distancia entre maquinas	21
3.2.6.2.5 Cambios en la presión del sistema	22
3.2.7 Selección de Accesorios	24
3.2.8 Selección de la carcasa	25
3.2.8.1 Selección del material	25
3.2.8.2 Dimensionamiento	25
3.2.9 Selección de la bomba	27
3.2.9.1 Cálculos de la potencia de la bomba	27
3.2.9.1.1 Vidrio	28
3.2.9.1.1.1 Rugosidad	28
3.2.9.1.1.2 Caudal	28
3.2.9.1.1.3 Área	29
3.2.9.1.1.4 Velocidad	29
3.2.9.1.1.5 Reynol	29
3.2.9.1.1.6 Fanning	29

3.2.9.1.1.7 Perdidas por accesorios.....	30
3.2.9.1.2 Silicona	30
3.2.9.1.2.1 Rugosidad	30
3.2.9.1.2.2 Caudal	30
3.2.9.1.2.3 Área.....	30
3.2.9.1.2.4 Velocidad	31
3.2.9.1.2.5 Reynol.....	31
3.2.9.1.2.6 Fanning	31
3.2.9.1.2.7 Perdidas.....	32
3.2.9.1.2.8 Potencia de la bomba	32
3.2.10 Características y materiales usados para la construcción	32
3.2.10.1 Cuerpo de sistema de adsorción.....	33
3.2.10.2 Filtro.....	35
3.2.11 Determinación del tiempo óptimo de muestreo	35
3.2.11.1 Benceno	37
3.2.11.1.1 Presión parcial y fugacidad.....	37
3.2.11.1.2 Volumen Molar.....	37
3.2.11.1.3 Carga del Adsorbato	37
3.2.11.1.4 Carga de adsorbato.....	38
3.2.11.1.5 Área del lecho	38
3.2.11.1.6 Velocidad del lecho	39

3.2.11.1.7 Volumen del lecho	39
3.2.11.1.8 Concentración en la alimentación.....	39
3.2.11.1.9 Densidad del lecho.....	39
3.2.11.1.10 Tiempo ideal de adsorción.....	40
3.2.12 Determinación de la Caída de presión	41
3.2.13 Balance de masa.....	42
3.2.13.1 Cálculos de balance de masa individuales.....	44
3.2.13.1.1 Benceno	44
3.2.13.1.1.1 Transformación de unidades.....	44
3.2.13.1.1.2 Masa de aire	44
3.2.13.1.1.3 Masa en la alimentación	44
3.2.13.1.1.4 Masa a la salida.....	44
3.2.13.1.1.5 Fracción en la Alimentación (X_E).....	44
3.2.13.1.1.6 Fracción en la salida (X_S)	45
3.2.13.1.1.7 Eficiencia	45
3.2.13.2 Cálculos de balance de masa global BTEX.....	47
3.2.13.2.1 Masa en la acumulación.....	47
3.2.13.2.2 Transformación de unidades.....	47
3.2.13.2.3 Masa de aire	47
3.2.13.2.4 Masa en la alimentación	47
3.2.13.2.5 Masa a la salida.....	48

3.2.13.2.6 Fracción en la Alimentación (X_E)	48
3.2.13.2.7 Fracción en la salida (X_S)	48
3.2.13.2.8 Eficiencia	48
3.2.14 Validación del dispositivo piloto	51
3.2.14.1 Funcionamiento del dispositivo piloto para adsorción de BTEX	51
3.2.14.2 Eficiencia en la validación	53
3.2.14.2.1 Diagramas de Adsorción:.....	53
3.3 Proceso de producción	58
3.4 Requerimientos Tecnológicos de maquinaria.....	59
3.5 Análisis de costo /beneficio del proyecto	61
3.6 Cronograma de ejecución del proyecto	63

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1-3: Radio de la curva de la manguera	20
Figura 2-3: Manejo de manguera de silicona	21
Figura 3-3: Accesorios para el esfuerzo de la manguera de silicona	21
Figura 4-3: Hondura necesaria para distancia entre maquinas	22
Figura 5-3: Cambios presión del sistema	22
Figura 6-3: Estructura interna dispositivo piloto para adsorción de BTEX	23
Figura 7-3: Vista superior dispositivo piloto para adsorción de BTEX	25
Figura 8-3: Vista frontal dispositivo piloto para adsorción de BTEX	26
Figura 9-3: Vista de filtros adsorbentes	26
Figura 10-3: Vista posterior dispositivo piloto para adsorción de BTEX	27
Figura 11-3: Explicación del procedimiento para la toma de muestra de BTEX	52
Figura 12-3: Adición de BTEX para adsorción	52
Figura 13-3: Personal receptor de la validación del dispositivo piloto	53
Figura 14-3: Eficiencia de adsorción de BTEX	54
Figura 15-3: Eficiencia de adsorción de Benceno	54
Figura 16-3: Eficiencia de adsorción de Etilbenceno	55
Figura 17 -3: Eficiencia de adsorción de Tolueno	55
Figura 18-3: Eficiencia de adsorción de Xileno	56
Figura 19-3: Eficiencia de adsorción total de BTEX	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Parámetros ambientales de Diseño	9
Tabla 2-3: Masa de BTEX en aire	10
Tabla 3-3: Características de adsorbentes	11
Tabla 4-3: Características del carbón activado a base de cascara de coco	12
Tabla 5-3: Determinación de la dosis óptima de carbón activado	14
Tabla 6-3: Tubos para adsorción de BTEX	15
Tabla 7-3: Selección del material	17
Tabla 8-3: Determinación del espesor de la espuma de poliuretano	18
Tabla 9-3: Mangueras para conducción de aire	19
Tabla 10-3: Características físicas de mangueras de silicona	23
Tabla 11-3: Determinación de longitudes por tramos	23
Tabla 12-3: Selección de Accesorios y Dimensionamiento	24
Tabla 13-3: Datos experimentales Perdida de Carga	27
Tabla 14-3: Datos adicionales	27
Tabla 15-3: Datos adicionales para accesorios	28
Tabla 16-3: Simbología para determinación de la potencia de la bomba	28
Tabla 17-3: Características de los componentes del dispositivo	32
Tabla 18-3: Datos experimentales para determinación del tiempo óptimo de muestreo	35
Tabla 19-3: Datos adicionales para determinación del tiempo óptimo de muestreo	36
Tabla 20-3: Simbología para determinación del tiempo óptimo de muestreo	36

Tabla 21-3: Resultados del tiempo óptimo de adsorción	40
Tabla 22-3: Datos adicionales para la Caída de presión	41
Tabla 23-3: Fracciones huecas para empaques apilados o rellenos al azar	41
Tabla 24-3: Simbología para determinación de caída de presión	41
Tabla 25-3: Datos experimentales para balance de masa	42
Tabla 26-3: Datos Adicionales para balance de masa	43
Tabla 27-3: Simbología para determinación de balance masa individual de BTEX	43
Tabla 28-3: Tabla de resultados balance de masa individual BTEX	45
Tabla 29-3: Resultados de balance de masa global BTEX	49
Tabla 30-3: Comparación de resultados Resina vs Carbón activado	50
Tabla 31-3: Reporte de análisis validación del dispositivo piloto	51
Tabla 32-3: Eficiencia en la validación	53
Tabla 33-3: Proceso de producción	59
Tabla 34-3: Requerimientos tecnológicos de maquinaria	60
Tabla 35-3: Costos de construcción del dispositivo para adsorción de BTEX	61
Tabla 36-3: Costo adicional para análisis de BTEX	62

RESUMEN

Se realizó el diseño y construcción de un dispositivo para adsorción de compuestos orgánicos volátiles en aire ambiente para el Complejo Industrial Shushufindi a base de carbón activado, los compuestos orgánicos volátiles a analizar serán: Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX) ya que estos representan el 95 % de los compuestos orgánicos volátiles que se producen dentro de esta Industria Petrolera. El diseño y construcción del dispositivo se basó en cálculos de Ingeniería y ensayos experimentales en el Laboratorio de Salud Seguridad y Ambiente (LABSSA EP-PETROECUADOR). Para su construcción se seleccionó el acero inoxidable para el armazón, el vidrio para los filtros y válvulas debido a sus características y propiedades, principalmente su inercia ante los compuestos a analizar. Este dispositivo se denomina muestreador activo puesto que consta de una bomba de succión la cual ayudará el ingreso de aire en un volumen determinado, un termohidrómetro incorporado para la medición de temperatura, humedad y presión atmosférica, un timer para controlar el tiempo de muestreo y como fuente fundamental un filtro de vidrio a base de carbón activado el cual consta de una sección 150 mg del mismo, retenidos por dos láminas de 3 mm de espuma de poliuretano de cada lado, un pre-filtro para retención de partículas arrastradas por el aire y la unidad de mantenimiento que ayudara al cuidado de la bomba, todo esto acoplado a mangueras de silicona semidura para conducción del aire hacia los tubos. Para determinar la eficiencia del carbón activado se realizaron pruebas en distintos lapsos de tiempo, analizando el adsorbente puro como blanco, con la finalidad de determinar su tiempo de saturación y la cantidad adecuada que se ha de colocar dentro del filtro.

Palabras clave: <ADSORCIÓN> <COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES> <AIRE> <CARBÓN ACTIVADO> <FILTROS DE VIDRIO> <TEMPERATURA> <HUMEDAD> <PRESIÓN> <VÁLVULAS> <BOMBA> <BTEX>.

SUMMARY

It was made the design and the construction of an absorption device of volatile organic compounds within the environment for the Industrial Complex Shushufindi based on activated coal, the volatile organic composes to be analyzed will be: Benzene, Toluene, Ethil-benzene, and Xylene (BTEX) since they represent the 95% of the volatile organic composes that are produced inside this Oil Industry. The design and construction of the device was based on Engineering calculus and experimental tests in the laboratory of Safety and Environmental Health (LABSSA EP- PETROECUADOR). For its construction stainless Steel was selected for the framework, glass for the filters and valves, due to its characteristics and properties, mainly its inertia facing the compounds to be analyzed. This device is named active sampler since it consists on a sucking pump, which will help to the air intake in a determined volume, a thermo-hydrometer incorporated to the measurement of temperature, moisture and atmospheric pressure, a timer to control the sampling time and as a fundamental source a glass filter in base don activated coal , which consists on a section of 150 mg of the same , retained by two layers of 3 mm of polyurethane per each side care the pump, all of this assembled to semi-hard silicone hoses for transporting the air toward the pipes. To determine the efficiency of the activated coal, test were made in different lapses of time, by analyzing the pure absorbent as a target; to determine its saturation time and the adequate quantity that has been located inside the filter.

Key Words: <ABSORPTION> <VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS> <AIR>
<ACTIVATED COAL> <GLASS FILTERS> <TEMPERATURE> <MOISTURE>
<PRESSURE> <VALVES> <PUMP> <BTEX>

CAPÍTULO 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

¿Qué efecto provoca la presencia de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos (BTEX) como Compuestos Orgánicos Volátiles en aire ambiente?

El principal inconveniente medioambiental de los compuestos orgánicos volátiles es que, agrupan una gran cantidad de sustancias químicas que se convierten fácilmente en vapores o gases y que pueden tener diferentes efectos nocivos sobre el medio ambiente y a la salud, al mezclarse con otros contaminantes atmosféricos como los óxidos de nitrógeno (NO_x) que al reaccionar con la luz solar pueden formar ozono troposférico, que contribuye al problema del 'smog' fotoquímico causando daños respiratorios.

Siendo compuestos extremadamente peligrosos para la salud y para el ambiente la exposición varía en función de sus características genéticas, estado de salud, estado nutricional y de la edad. Este es el caso de los niños, los cuales están potencialmente a mayor riesgo que los adultos frente a la exposición de los contaminantes del aire. Es así que la presencia de COV's en aire ambiente afecta la salud e integridad de las personas aledañas al complejo industrial SHUSHUFINDI esencialmente de sus trabajadores; provocando efectos a su salud, por inhalación o por contacto, más que por vías como la ingestión a través de alimentos o bebidas contaminadas, afectando el sistema respiratorio, sistema nervioso central, irritación de las mucosas externas, afecciones sobre el sistema cardiovascular, sensibilidad a los olores químicos, efectos cancerígenos, leucemia, muerte por hipoxia, depresión con fatiga, entre otras.

Además que altos niveles de O₃ dañan la vegetación, perjudicando la reproducción y el crecimiento de las plantas, lo que lleva a la reducción de la biodiversidad, disminución de crecimiento de los bosques y reducción del rendimiento de los cultivos agrícolas. De tal manera que el ozono disminuye el proceso de fotosíntesis, reduciendo la absorción del dióxido de carbono por la planta.

La solución a la problemática que presenta el complejo industrial Shushufindi es la reducción de los gases generados, mediante la implementación del dispositivo a base de carbón activado para la adsorción de dichos gases con el fin de cumplir con las exigencias no solo del ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA

EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS y del ACUERDO No. 050 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISION sino también de la población que se encuentra preocupada por las afectaciones a la salud anteriormente mencionadas.

1.2 Justificación del proyecto

Una refinería es una instalación industrial sumamente compleja en la que se llevan a cabo procesos de distinta índole. Algunos de estos procesos conllevan la emisión de gases partículas y compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera.

Los COV's, es cualquier sustancia orgánica que contiene carbón y que se evapora a temperatura ambiente. Contribuyen de manera decisiva a la formación del 'smog' fotoquímico (neblina contaminante). Suelen tener olor, como la gasolina, el alcohol o los disolventes. Algunos COV's son muy tóxicos, como el benceno, el óxido de estireno, el percloroetileno o el tricloroetileno, que son cancerígenos. Los COV's cuando se mezclan con óxidos de nitrógeno, reaccionan generando ozono, lo cual contribuye al efecto invernadero.

Los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) representan el 95 % de los compuestos orgánicos volátiles producidos en la actividad petrolera. Siendo el más peligroso el benceno debido a sus propiedades cancerígenas las cuales pueden afectar al personal directamente involucrado con la producción así como también a la población debido al arrastre de la contaminación producida por los vientos.

Por los antecedentes manifestados se justifica proponer el "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PILOTO CON ADSORBENTE A BASE DE CARBÓN ACTIVADO PARA RETENCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (BTEX) BENCENO , TOLUENO , ETILBENCENO Y XILENO EN AIRE AMBIENTE PARA EL COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSHUFINDI" el cual será probado en distintos puntos dentro del complejo industrial Shushufindi , se seguirá los parámetros del ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS y del ACUERDO No. 050 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISION.

1.3 Línea Base del proyecto

El diseño y construcción del dispositivo piloto a base de carbón activado para retención de BTEX se realizó de manera experimental a nivel de laboratorio para después plasmar el dispositivo de acuerdo a los resultados obtenidos satisfactoriamente para lo cual se realizó lo siguiente:

1.3.1 Caracterización del Carbón Activado

El objetivo principal de la caracterización es determinar las propiedades del carbón activado, las cuales se relacionan directamente con la capacidad de adsorción del carbón. Entre las propiedades físicas más relevantes para caracterizar el carbón activado se encuentran densidad, el área superficial, el tamaño de partícula, la porosidad, y la dureza.

Las propiedades fisicoquímicas tales como área superficial específica, volumen total del poro, material volátil, ceniza, contenido de carbono, son unos de los parámetros fundamentales que se toma en consideración al momento de utilizar dicho adsorbente.

La composición química del carbón activo es aproximadamente un 75-80% en carbono, 5-10% en cenizas, 60% en oxígeno y 0,5% en hidrógeno. Los carbones activados, pueden presentar elevadas superficies específicas, del orden de 1000 m²/g e incluso llegar a los 3000 m²/g. Los elevados valores de superficie específica se deben en gran medida a la porosidad que presentan los materiales carbonosos, siendo los microporos los que mayor contribución tienen en la superficie específica.

Una de las características importantes sobre el carbón activado a utilizar es la porosidad según la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemists), que se basan en el diámetro de los mismos, de acuerdo a lo siguiente:

- Microporos: Menores a 2 nm
- Mesoporos: Entre 2 y 50 nm.
- Macroporos: Mayores a 50 nm (típicamente de 200 a 2000 nm)

Los microporos tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes. Los macroporos atrapan moléculas grandes, tales

como las que son cloradas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica.

1.3.2 Diseño del dispositivo para toma de muestras

El dispositivo se realizó de manera experimental a nivel de laboratorio para lo cual se tomó en cuenta:

- Tubo de vidrio de 7cm, diámetro de 0,5mm
- 150mg de carbón activado.
- Tapones
- Espuma de poliuretano
- Sistema de tuberías
- Bomba de succión
- Termohidrómetro
- Barómetro

El procedimiento para la toma de muestra consiste en acoplar el tubo de vidrio en el sistema de tuberías que estará conectado a la bomba de succión, al momento de encender pasara el flujo necesario (50ml/min) en el cual se adsorberá los analitos (BTEX) en el adsorbente (carbón activado) que se encuentra dentro del tubo de vidrio ajustado con espuma de poliuretano que tiene la función de impedir el paso de sólidos innecesarios. Al transcurrir el tiempo de adsorción, el carbón activado se satura a las 8 horas por lo cual se prosigue apagar el dispositivo y posteriormente a sellar los tubos con tapones de poliuretano para luego enviarlos analizar.

Previamente se realiza la toma de temperatura, presión y humedad antes y al finalizar la toma de muestra para evitar resultados erróneos, ya que pueden afectar la adsorción, debido a que a mayor temperatura no existirá mayor adsorción y afectara el tiempo establecido de toma muestra.

En base a los resultados obtenidos se verifica que el dispositivo que se realizó experimentalmente funciona en su totalidad ya que los valores de adsorción se encuentran dentro de los parámetros del ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS y del ACUERDO No. 050 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISION.

Mediante este análisis se procedió a plasmar el dispositivo piloto a base de carbón activado para retención de BTEX en aire ambiente para el complejo industrial Shushufindi en acero inoxidable, con el sistema de tuberías de silicona, tubos de vidrio que contienen 150mg de carbón.

1.4 Beneficios directos e indirectos

1.4.1 Directos

Complejo Industrial Shushufindi

1.4.2 Indirectos

La comunidad aledaña al complejo industrial SHUSHUFINDI.

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 Objetivo General

- Diseño y construcción de un dispositivo piloto con adsorbente a base de carbón activado para retención de los principales compuestos orgánicos volátiles en aire ambiente para el complejo industrial Shushufindi

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización de compuestos orgánicos volátiles (BTEX) en diversos puntos del complejo industrial Shushufindi , en base al ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS y del ACUERDO No. 050 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISION.
- Identificar las variables para el diseño de un dispositivo de adsorción a base de carbón activado para compuestos orgánicos volátiles que ayuden a la determinación de Benceno ,Etilbenceno , Tolueno y Xileno
- Desarrollar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento de un dispositivo a base carbón activado para retención de compuestos orgánicos volátiles en aire ambiente
- Determinar los costos de construcción de un dispositivo de retención de compuestos orgánicos volátiles a base carbón activado
- Validar el dispositivo de retención de compuestos orgánicos volátiles a base carbón activado.

CAPÍTULO 3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del proyecto

Complejo Industrial Shushufindi, está ubicado en la Provincia de Sucumbíos en la región Oriental del País, está formado por:

- Refinería Amazonas.
- Planta de gas de Shushufindi.

Los límites del cantón Shushufindi son:

- Al norte con los cantones Lago Agrio y Cuyabeno.
- Al sur y oeste con la provincia de Orellana.
- Al este con el cantón Cuyabeno y la provincia de Orellana.

Se encuentra a una altitud de 275 metros sobre el nivel del mar y un clima cálido, con temperatura promedio de 20 °C, y cuenta con una superficie de 2463.1 Km²

3.2 Ingeniería del proyecto

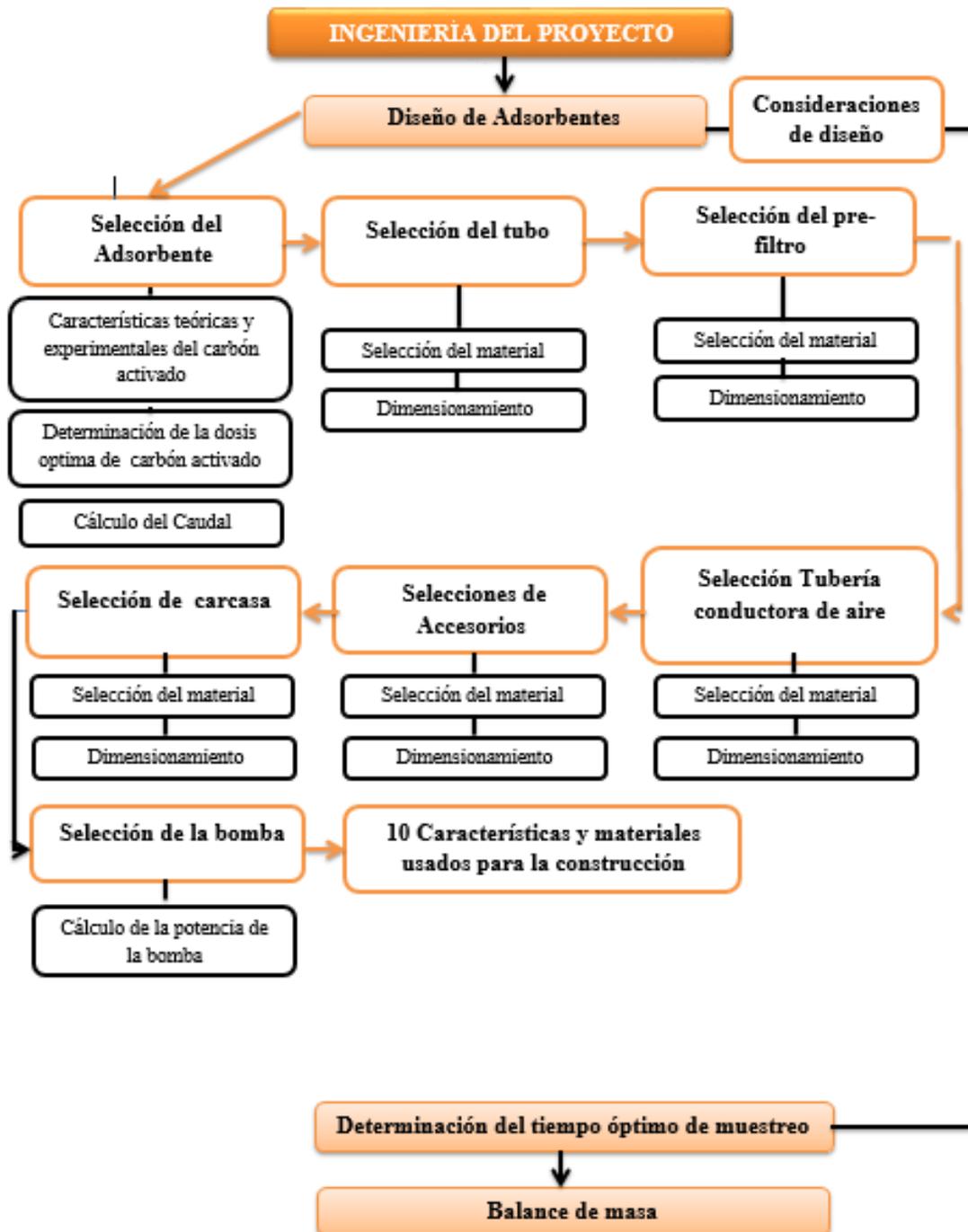
En las instalaciones del Complejo Industrial Shushufindi se realizan mediciones trimestrales en cuanto a los compuestos orgánicos volátiles considerando únicamente los BTEX. Estos valores son determinados principalmente para precautelar la salud de los trabajadores, el método utilizado es cromatografía de gases y el muestreo se realiza con fundas tedlar y una bomba al vacío, el inconveniente que este método presenta es principalmente el alto costo de las fundas tedlar que varía entre 200 y 300 dólares la decena.

El diseño de un dispositivo para la retención de compuestos orgánicos volátiles (BTEX) a base de carbón activado reducirá el costo debido a que su adquisición será mucho menor; este equipo constara de una bomba de succión la cual aumentara el flujo volumétrico de entrada del aire y un filtro con adsorbente.

3.2.1 Propuesta

Con el diseño y construcción del dispositivo adsorbente a base de carbón activado se propone el diagrama de flujo para la retención de compuestos orgánicos volátiles (BTEX) en aire ambiente.

En el siguiente diagrama de flujo se detalla cada una de las etapas así también las variables que intervienen en el proceso para la adsorción.



Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A. ESPOCH., 2016.

3.2.2 Diseño de Adsorbentes

Para el diseño del adsorbente se debe considerar varios parámetros:

- Factores ambientales en el área a muestrear
- Masa de contaminante en el aire.
- Caudal de aire.
- Características de los materiales de adsorción.
- Temperatura de transporte de la muestra

Factores que favorecen eficiencia de adsorción:

- La agitación permite que el adsorbente tenga mayor contacto con el aire contaminado.
- Temperaturas altas son desfavorables para los procesos de adsorción de gases pues estos se volatilizan con mayor facilidad
- A menor humedad mayor adsorción.

3.2.2.1 Consideraciones de diseño

El primer paso a tomar en cuenta para el diseño y posterior construcción de un dispositivo para adsorción de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX) son los factores ambientales, a continuación se muestran las características ambientales promedio dentro del complejo industrial Shushufindi:

Tabla 1-3: Parámetros ambientales de Diseño

Parámetro	Complejo Industrial Shushufindi	Límite para la toma de muestra
Presión (atm)	0,99	1,5
Temperatura (°C)	35	45
Humedad (%)	40	60

Fuente: MANUAL DEL CARBÓN ACTIVADO., Línea., www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf.

Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., Laboratorio de Análisis EPPETROECUADOR., 2016.

Las condiciones de Presión, Temperatura y Humedad en la zona a muestrear son adecuadas para la aplicación del método de muestreo activo para compuestos orgánicos volátiles.

3.2.2.2 Masa de contaminante en el aire.

Se considera 3 puntos claves dentro del complejo industrial Shushufindi los cuales son:

- Planta de gas
- Refinería
- Campamento

Principalmente por la presencia constante de personal y emisión de vapores. Estos datos fueron tomados del punto de emisión más cercano a la toma de muestra puesto que no existen antecedentes para concentración de Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xileno (BTEX) en aire ambiente.

Tabla 2-3: Masa de BTEX en aire

Compuesto	Norma (µg/L)	Carbón Activado			Resina		
		Planta de gas (µg)	Refinería (µg)	Campamento (µg)	Planta de gas (µg/L)	Refinería (µg/L)	Campamento (µg/L)
Benceno	1,62	0,2	0,2	0,2	0,00833333	0,00833333	0,00833333
Etilbenceno	434	0,4	1,2	0,2	0,01666667	0,05	0,00833333
Tolueno	377	2,1	2,1	0,4	0,0875	0,0875	0,01666667
Xileno	434	1,2	4,6	0,2	0,05	0,19166667	0,00833333

Fuente: LABORATORIO GRUNTEC., Resultados BTEX EN RESINA., Mayo 2015.

Directiva Europea de Calidad del Aire (2000/69/CE). RD 1073/2002 (España). Valor límite exigible a partir del 1 de enero de 2010
Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Benzene. 2005

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Toluene. 2005.

World Health Organisation (WHO). Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23, 2nd edition, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2000

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Xylenes. 2005

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Ethylbenzene. 2005

3.2.2.2.1 Caudal de aire

El caudal de aire que ingresa a la tubería es indispensable para la determinación de la concentración de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX). Teóricamente se

considera al adsorber un menor volumen de aire en un tiempo determinado el adsorbato se adhiere con mayor facilidad al adsorbente incrementando la eficiencia del método.

Para determinar el caudal de adsorción adecuado se utilizó un volumen conocido de BTEX en diferentes intervalos de tiempo.

3.2.2.2.2 Temperatura de transporte de la muestra

Los compuestos orgánicos volátiles a temperaturas levemente altas pierden su estabilidad por lo tanto para la conservación de la muestra se requerirá condiciones de refrigeración y análisis inmediato.

Las muestras de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno tienen un punto de fusión de 5°C por lo cual la muestra deberá ser conservada a una temperatura menor y deberá ser analizada en un máximo de 14 días.

3.2.3 Selección del Adsorbente

Tabla 3-3: Características de adsorbentes

Adsorbente	Forma de partículas	Intervalo del diámetro, malla estándar %	Porocidad (nm)	Densidad masiva seca %	Diámetro promedio del poro (nm)	Área de la superficie	Capacidad de sorción (Kg/kg)	Aplicable
Gel de sílice	G, P	Varios	30-48	0,70 a 0,82	2 a 5	0,6 a 0,8	0,35 a 50	Para adsorción de humedad
Cabón activado	Concha de coco	G ,P,S	80	0,45 a 0,55	2	0,8 a 1,6	0,40	Sorción de contaminates en aire y agua
	Madera	G	80	0,25 a 0,30	-	0,8 a 1,8	-0,70	Potabilización de agua
	Petroleo	G,C	80	0,45 a 0,55	2	0,9 a 1,3	0,3 a 0,4	Recuperación de metales

Ester	G, S	20 a 60	50 a 55	0,65 a 0,7	10 a 25	0,15 a 0,40	-	Purificación de agua
Resinas	G	16 a 50	45	0,42	-	0,08 a 0,12	0,4	Decoloración de soluciones

*G = granulos P= polvo S = esferas

Fuente : ROBERT H. PERRY., DON W. WREEN., Chemical Engineers Handbook., sección 16., tabla 16- 3

El carbón activado (polar) presenta las condiciones idóneas para la adsorción de compuestos orgánicos volátiles (apolares), esto no solo por sus características sino también por su gran afinidad hacia este tipo de compuestos, en la tabla anterior se puede analizar variedad adsorbentes y a la vez algunas de las variantes de carbón activado que existe en el mercado, después de un estudio bibliográfico y experimental se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 4-3: Características del carbón activado a base de cascara de coco

Carbón Activado	Aplicación	Beneficios	Dificultades	Determinación de Sólidos mg
Polvo	Purificación del aire Purificación de químicos y catalizadores Alimentos y bebidas Productos farmacéuticos Purificación del agua	Fácil manejo	Difícil de empaquetar Afecta a las vías respiratorias Contenido considerable de cenizas	100,0
Granular	Adsorción de sustancias no polares como: Aceite mineral BTEX Poli-hidrocarburos aromáticos (PACs) (Cloruro) Fenol Adsorción de sustancias	Fácil manejo Diametro de particula uniforme Mayor superficie de adsorción No contiene ceniza	Forma iregular Contenido considerable de cenizas	4,000

	halogenadas: I, Br, Cl, H y F Olor Gusto Levaduras Varios productos de fermentación Sustancias no polares (sustancias las cuáles no son solubles en agua)			
Granular esférico	Adsorción de sustancias no polares como: Aceite mineral BTEX Poli-hidrocarburos aromáticos (PACs) (Cloruro) Fenol Adsorción de sustancias halogenadas: I, Br, Cl, H y F Olor Gusto Levaduras Varios productos de fermentación Sustancias no polares (sustancias las cuáles no son solubles en agua)	Fácil manejo Diametro de partícula uniforme Mayor superficie de adsorción No contiene ceniza	-----	0,0001

Fuente: NTE INEN 1991: Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial.

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., 2016.

La determinación de sólidos totales se realizó con la finalidad de detectar cenizas en el carbón activo y para determinar la eficacia de cada uno. La metodología empleada es la siguiente:

En un balón aforado con de 25 ml de agua y una gota de azul de metileno luego se introduce 1 gramo de carbón activado, agitamos y filtramos. En una capsula tarada secamos la muestra hasta volumen constate.

Los resultados obtenidos indican que el carbón activado esférico posee muy poca cantidad de sólidos que escapen del filtro, por lo cual se considera como la mejor opción para evita la perdida de muestra en cualquier filtro.

Tabla 5-3: Determinación de la dosis óptima de carbón activado

Masa de carbón activado (mg)	Masa de tolueno en la mezcla (mg)	Volumen de mezcla aire – tolueno (litros)	Tiempo (min)	Masa de tolueno adsorbido (mg)	% Adsorbido
150	0,078021	2	20	0,0510	65,4
			40	0,0506	64,9
100	0,043345	2	20	0,0257	59,3
			40	0,0218	50,3
150	0,043345	2	20	0,0355	81,9
			40	0,0322	74,3
150	0,00867	2	10	0,0062	71,5
			20	0,0080	92,3
			30	0,0081	93,4
			40	0,0083	95,7
			50	0,0082	94,6

Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., Laboratorio de Análisis EPPETROECUADOR., 2016.

En la tabla 5-3 se realizó de manera experimental con el objetivo de determinar la masa de carbón activado y la velocidad de muestreo, tomando como base la mejor eficiencia de adsorción obtenida y las variantes utilizadas para obtenerlo.

El 95,7 % de eficiencia de adsorción se obtuvo con una masa de adsorbente de 150 mg, con un volumen de mezcla de 2 litros en 40 minutos.

Los límites de detección del método serán de 0,0087 microgramos y 0,02 microgramos esto por limitaciones del método cromatográfico.

3.2.3.1 Cálculo del caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{2000ml}{40 \text{ min}} = 50ml/min$$

El caudal de aire para la adsorción de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX) es de 50mL/min. El carbón activado utilizado para este estudio fue de tipo esférico de 35x35 mallas, ultra puro de grado analítico.

3.2.4 Selección del tubo

3.2.4.1 Selección del material

Para la selección del tubo adsorbente se debe tomar en cuenta características de la muestra con la necesidad de mantenerla a temperaturas moderadas.

Por otra parte se considera también factores físicos de los materiales y que estos no presenten ningún tipo de reacción ante el compuesto a analizar, a continuación se presentan materiales inertes de fácil adquisición en el mercado.

Tabla 6-3: Tubos para adsorción de BTEX

Material	Conductividad térmica (W/mk)	Rugosidad	Coefficiente de dilatación °C	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
Vidrio	1,05	0,00	9 x 10 ⁻⁶	10.000
Teflón	0,21	0,04	23 – 60	46
Acero inoxidable	50,2	0,09	11x10 ⁻⁶	-

Silicona	0,22	0,01	10	Para una deformación de 25% 13Kpa
----------	------	------	----	-----------------------------------

Fuente: (1) NORMAS ASTM., Aplicación de tuberías y accesorio
(2) MARKS., Manual del Ingeniero Mecánico., sección 6., Pp 174-187

La conductividad térmica de los materiales nos indica cantidad/velocidad de calor transmitida a través de un material, se considera el vidrio como el material más adecuado para la adsorción de compuestos orgánicos volátiles por su baja conductividad térmica, rugosidad nula para reducir las pérdidas de carga que se producen dentro del sistema.

3.2.4.2 Dimensionamiento

Se emplea recipientes generalmente cilíndricos para favorecer la agitación. Para evitar la formación de canales laterales e irregularidades de distribución del fluido se considera que:

$$\frac{\text{Diámetro partícula}}{\text{Diámetro de Columna}} < 0,1$$

Dónde:

Diámetro de la partícula (carbón activado) = 35 x35 mallas según ROBERT H. PERRY., DON W. WREEN., Chemical Engineers Handbook, 7a .edición., Pp.19-20 = 0,5 mm

$$\frac{0,5}{\text{Diámetro de Columna}} < 0,1$$

$$5\text{mm} < \text{Diámetro de Columna}$$

El diámetro de la columna debe ser mayor a 5 mm, en el mercado se encuentran tubos de vidrio con diámetros interiores desde 6 mm cumpliendo a la vez con la condición que implica la ecuación anterior.

Como es natural, cuando menor sea el diámetro de la partícula, mayor será la superficie específica del producto, y mejor será su aprovechamiento; pero la permeabilidad del lecho disminuye mucho con el diámetro.

Se de evitar lechos de gran espesor para evitar el volumen muerto, el cual aumenta proporcionalmente a la raíz cuadrada de sección del recipiente, razón por la cual conviene

hacer los recipientes lo más altos y estrechos posibles, condición que se mantiene mientras no resulte incompatible con otras de tipo técnico y económico.

Los 150 mg de carbón activado esférico ocupan una longitud de 1cm totalmente comprimidos, para favorecer la penetración del adsorbato será necesario que el adsorbente se agite, la fuerza que ejerce el aire al pasar por el filtro mueve al carbón agitándolo y desplazándolo, este último se estudió de manera práctica simulando condiciones de trabajo.

$$L_{Total} = L_{ocupada\ por\ el\ adsorbente} + L_{de\ desplazamiento} \\ * \text{factor de seguridad}$$

$$L_{Total} = (3cm + 1,5cm)1,5cm = 7cm$$

3.2.5 Selección del pre-filtro

3.2.5.1 Selección del material

Los pre- filtros son considerados debido a las condiciones de humedad propias de las zonas amazónicas, probabilidades de lluvia y presencia de partículas de gran tamaño en el aire que puede alterar los resultados finales , estos filtros deberán poseer una porosidad menor a la del carbón activado debido a que cumplirán funciones de soporte.

Tabla 7-3: Selección del material

Material	Conductividad Térmica (W/m.K)	Porosidad (mm)	Afinidad	
			Humedad	Compuestos orgánicos volátiles
Papel filtro	-----	0,002	Si	Si
Lana de vidrio	0,036-0,040	-----	No	No
Espuma de Poliuretano	0,029	0,04	No	No

Fuente: (1) FAO, 1989.

(2)NTE INEN 2021: Plásticos. Espumas flexibles de Poliuretano para usos generales.

(3) MILIARUN.COM., Línea., <http://www.miliarun.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>

La espuma de poliuretano presenta características más adecuadas para el proceso de adsorción de compuestos orgánicos volátiles por su resistencia al agua y baja

conductividad térmica además que cumple con las condiciones de porosidad y proporciona una estructura de soporte al carbón.

3.2.5.2 Dimensionamiento

El pre- filtro debe tener el espesor adecuado para soportar la fuerza ejercida por el aire hacia el carbón activado y a la que permita el paso del flujo de aire.

El diámetro de la espuma de poliuretano está dado por el diámetro interior del tubo y la longitud se determinó experimentalmente simulando condiciones de trabajo

Tabla 8-3: Determinación del espesor de la espuma de poliuretano

Espesor (mm)	Observación
1	El carbón no se mantiene dentro de los límites de la espuma y la bomba adsorbe el contenido del tubo
2	El carbón se mantiene dentro de los límites de las espuma de poliuretano pero la bomba continua arrastrándola
3	El carbón se mantiene dentro de los límites de las espuma de poliuretano y se mantiene dentro del tubo con un paso de aire adecuado.
4	El carbón se mantiene dentro de los límites de las espuma de poliuretano y se mantiene dentro del tubo con un paso de aire adecuado
5	El carbón se mantiene dentro de los límites de las espuma de poliuretano y se mantiene dentro del tubo pero el aire no pasa y termino cediendo por la presión y la manguera de la bomba comienza a estrangularse.

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., Laboratorio de Análisis EPPETROECUADOR., 2016.

El espesor del pre- filtro de espuma de poliuretano varía desde 3 – 4 mm de longitud la cual será colocada en los dos extremos del carbón, colocando en la parte posterior una porción de espuma de poliuretano mayor, para favorecer la retención del adsorbente y del adsorbato dentro del tubo.

3.2.6 Selección Tubería conductora de aire

3.2.6.1 Selección del material

Se debe considerar:

- Caudal de entrada de aire = 50 ml / min
- Temperatura Ambiente: 35°C
- Descarga electrostática.-El caudal que pasa por la manguera puede generar electricidad estática. Para descargar esa carga de electricidad estática a masa y permitir la disipación estática seleccione una manguera con la conductividad adecuada. Si la aplicación puede generar electricidad estática, seleccione una manguera disipadora de la carga estática y conéctela adecuadamente a masa.
- Vibraciones.- Para seleccionar una manguera tenga en cuenta la vibración presente en el sistema. Las mangueras metálicas pueden no ser adecuadas en sistemas con vibración alta o constante.

A continuación se presenta algunas de las opciones que se encuentran en el mercado y sus características:

Tabla 9-3: Mangueras para conducción de aire

Tipo	Aplicación	Diámetro exterior (mm)	Fluido	Presión de funcionamiento (atm)	T (°C)	Descripción
Tubo flexible de material plástico	Muy variadas	3-16	Aire comprimido	-0,95 ...+10	-35...+60	Tubo flexible de material plástico
Tubo flexible de Silicona Semidura	Rentable II: Funciones básicas Uso flexible gracias a su alta resistencia	4...16	Aire comprimido filtrado Vacío	-1...+8	-20...+60	Resistente a sustancia químicas y a la hidrolisis
Tubo flexible de plástico PAN	Hasta 14 bar	4-16	Aire comprimido Vacío	-0,95...+14	-30...+80	De alta resistencia mecánica y térmica

Fuente: FESFO., Mangueras para Conducción de aire., línea., www.festo.com/cms/es-mx_mx/9671.htm.

Los tubos flexibles de silicona semidura se adaptan a las condiciones ambientales y de muestreo y no se degradan en presencia de compuestos químicos.

Para que las propiedades de las mangueras de silicona semidura no se vean afectadas, hay que asegurarse de que la temperatura del fluido y la temperatura ambiente, tanto estables como transitorias, no sobrepasen los límites de la manguera publicados en el catálogo. Las temperaturas inferiores y superiores al límite recomendado degradarán la manguera, pudiendo provocar su rotura y la fuga del fluido. En las propiedades mecánicas de la manguera también influyen las temperaturas bajas o altas y deben ser tenidas en cuenta al diseñar el sistema.

3.2.6.2 Dimensionamiento

Para el dimensionamiento de las tuberías conductoras de aire se deberá tomar en cuenta las normas para la correcta colocación, accesorios y el número de tubos muestreadores.

3.2.6.2.1 Longitud

Para especificar la longitud correcta de la manguera tenga en cuenta el movimiento, la presión del sistema y la dilatación térmica. Instalar manguera sin la longitud suficiente para adaptarse a esos factores puede acortar la vida de servicio.

A continuación se ilustra la instalación correcta de las mangueras:

3.2.6.2.2 Radio mínimo de curva

Respete los requisitos de radio mínimo de curva de cada manguera. Las curvas con radios inferiores a los sugeridos pueden forzar la manguera y acortar la vida de servicio.

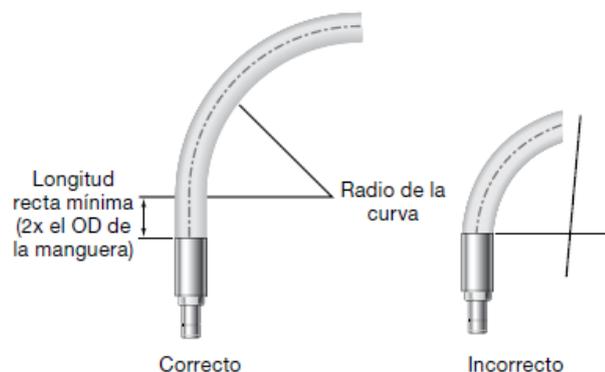


Figura 1-3: Radio de la curva de la manguera
Fuente: NORMATIVA SAE j1273 Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies

La manguera no debe doblarse demasiado cerca del terminal con la conexión final para evita roturas o fugas.



Figura 2-3: Manejo de manguera de silicona
Fuente: NORMATIVA SAE j1273 Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies

3.2.6.2.3 Esfuerzo

Para reducir el esfuerzo que hace la manguera se pueden utilizar codos y adaptaciones



Figura 3-3: Accesorios para el esfuerzo de la manguera de silicona
Fuente: NORMATIVA SAE j1273 Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies

3.2.6.2.4 Distancia entre maquinas

La manguera debe tener la holgura necesaria para admitir cambios y tolerancias en la distancia entre maquinas.



Figura 4-3: Hondura necesaria para distancia entre maquinas
Fuente: NORMATIVA SAE j1273 Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies

3.2.6.2.5 Cambios en la presión del sistema

La manguera debe tener la longitud suficiente para aceptar cambios en la presión del sistema. No conecte mangueras de alta y baja presión entre sí.

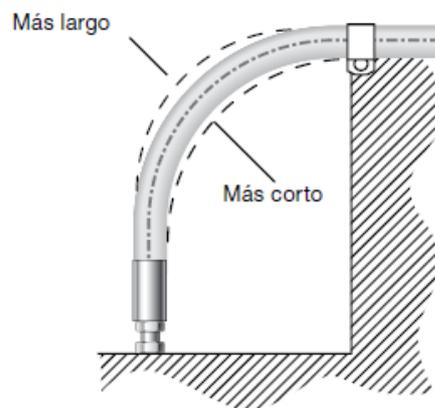


Figura 5-3: Cambios presión del sistema
Fuente: NORMATIVA SAE j1273 Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies

El diámetro de la manguera deberá ajustarse con el diámetro externo de la manguera para evitar el uso de reducciones. A continuación se detalla las características físicas de las mangueras de silicona semidura para diferentes diámetros.

Tabla 10-3: Características físicas de mangueras de silicona

Código	Diámetro Interior		Diámetro Exterior		Presión		Succión		Rad. Min. curvatura		Peso por metro		Longitud
	mm	plg.	Mm	plg.	Kg/cm ²	psi	mm Hg	plg Hg	mm	plg.	Kg/m	lb/ft	m
774450000104	6.4	¼	8.1	0.32	7.1	100	N/R	N/R	76	3	0.03	0.020	100
774450000106	8.0	0.32	9.5	0.37	7.1	100	N/R	N/R	76	3	0.05	0.034	100
774450000108	12.7	½	15.6	0.61	7.1	100	N/R	N/R	127	5	0.08	0.054	100
774450000110	15.9	5/8	19.7	0.77	3.5	100	N/R	N/R	152	6	0.14	0.094	100
774450000112	19.1	¾	22.5	0.88	3.5	100	N/R	N/R	152	6	0.17	0.114	100
774450000116	25.4	1	30.5	1.20	3.5	100	N/R	N/R	203	8	0.3	0.201	50
774450000132	31.8	1 ¼	36.3	1.43	3.5	50	N/R	N/R	203	8	0.22	0.148	50
774450000138	38.1	1 ½	44.9	1.77	3.5	50	N/R	N/R	254	10	0.31	0.208	50
774450000151	50.8	2	57.1	2.25	1.8	25	N/R	N/R	254	10	0.52	0.349	50

Fuente: MASTERMANGIN.COM., Línea www.gates.com.mx/pdf/MASTERMANGIN2012sm.pdf

Para considerar el muestreador como activo debe poseer una bomba que forcé la entrada de aire al filtro , el equipo para adsorción de BTEX consta de 4 filtros muestreadores que podrán ser utilizados todos a la vez o de manera individual para evitar el paso de aire se incorporan válvulas .

El aire pasa a través de una unidad de mantenimiento para evitar el ingreso de partículas y agua hacia en sistema evitando desgaste del equipo y errores en la concentración de BTEX.

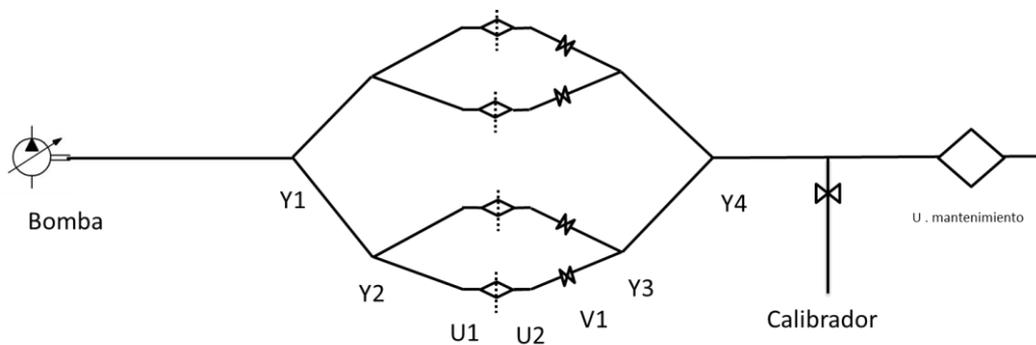


Figura 6-3: Estructura interna dispositivo piloto para adsorción de BTEX

Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., ESPOCH, 2016.

La siguiente tabla recopila los resultados obtenidos en apego a las normas de instalación de mangueras

Tabla 11-3: Determinación de longitudes por tramos

Tramo	Descripción del tramo	Longitud mínima para	Longitud (cm)

		Longitud de accesorio acoplado(cm)		evitar rotura (cm)	Longitud mínima (cm)	Longitud máxima (cm)	
1	Desde la bomba hacia la Y 1	Bomba	5	10	18	30	30
		Y1	3				
2	Desde Y1 hasta Y2	Y1	3	5	11	30	20
		Y2	3				
3	Desde Y2 hasta filtro	Y2	3	5	10	30	25
		U1	2				
4	Desde filtro hasta válvula	U2	2	5	10	30	10
		Válvula	3				
5	Desde válvula hasta Y3	Válvula	3	5	11	30	15
		Y3	3				
6	Desde Y3 hasta Y4	Y3	3	5	11	30	20
		Y4	3				
7	Desde Y 4 hasta calibrador	Y4	3	5	11	30	15
		Calibrador	3				
8	Desde calibrador hasta unidad de mantenimiento	Calibrador	3	5	11	30	15
		Unidad de mantenimiento	3				

Fuente: SWAGELOK., Determinación de longitudes por tramos., línea., www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/ES/MS-01-180.pdf

3.2.7 Selección de Accesorios

El sistema de tuberías para conducción de aire se ensambla con accesorios que permiten la unión y la ramificación del sistema, de acuerdo a la figura 6-3 tenemos:

Tabla 12-3: Selección de Accesorios y Dimensionamiento

Accesorio	Material	Temperatura de Trabajo °C	Diámetro (mm)	Cantidad	Consideración
Yes	Policarbonato	-100 a 135	8	6	Baja conductividad de calor
Uniones	Goma	-45 a 120	8	5	No reaccionan ante compuestos orgánicos

Válvulas	Vidrio	-	8	5	No reaccionan ante compuestos orgánicos
Unidad de mantenimiento	Acero	50	8	1	Retención de polvo y agua

Fuente: MARCK; Manual del Ingeniero Mecánico., sección 8. Pp 156-180.

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

3.2.8 Selección de la carcasa

3.2.8.1 Selección del material

Para evitar contaminación al dispositivo que conlleva el sistema de tuberías que la carcasa albergar se debe tomar las siguientes medidas preventivas para la toma de muestras:

- Mantenerse a menor temperatura para evitar ablandamiento en las mangueras de silicona y de esta manera evitar la pérdida de succión del analito.
- Resistente a la corrosión y humedad debido a las características climáticas presentes en el Complejo Industria Shushufindi.

3.2.8.2 Dimensionamiento

Se considera utilizar acero inoxidable quirúrgico para que no exista contaminación en la toma de muestra.

Vista superior:

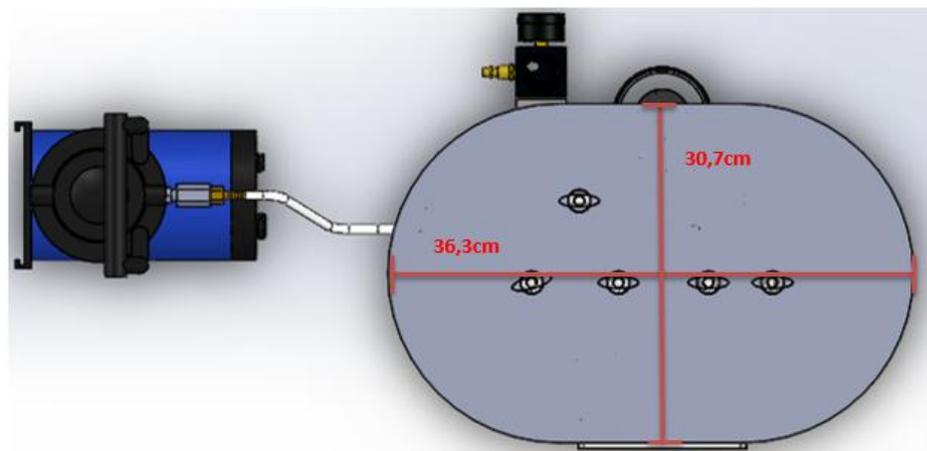


Figura 7-3: Vista superior dispositivo piloto para adsorción de BTEX

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

Vista frontal:

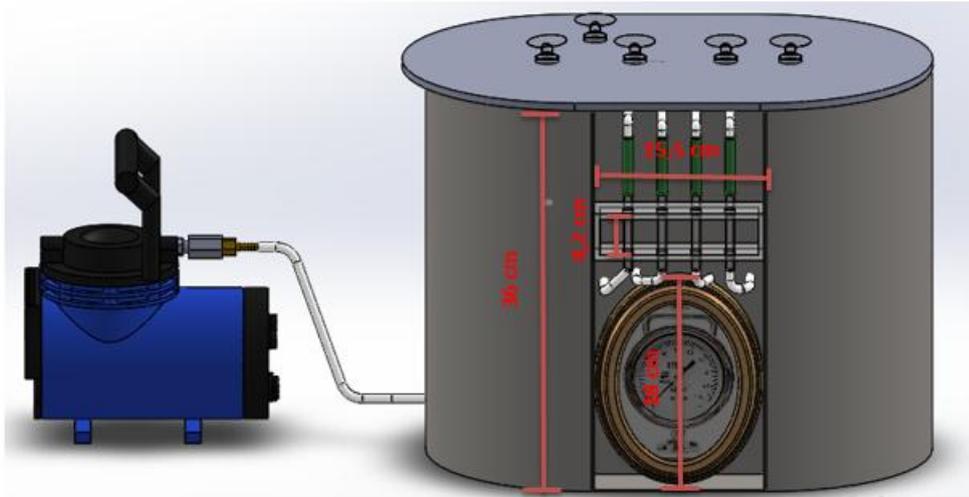


Figura 8-3: Vista frontal dispositivo piloto para adsorción de BTEX
Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., ESPOCH, 2016.

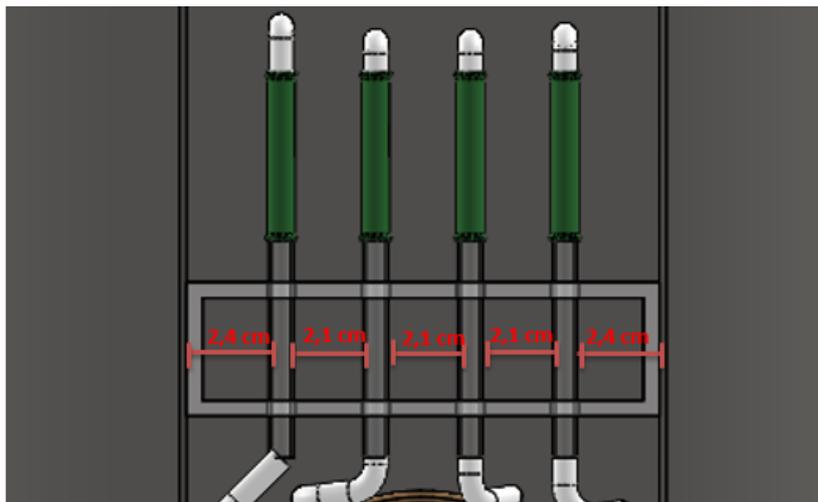


Figura 9-3: Vista de filtros adsorbentes
Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., ESPOCH, 2016.

Vista posterior:

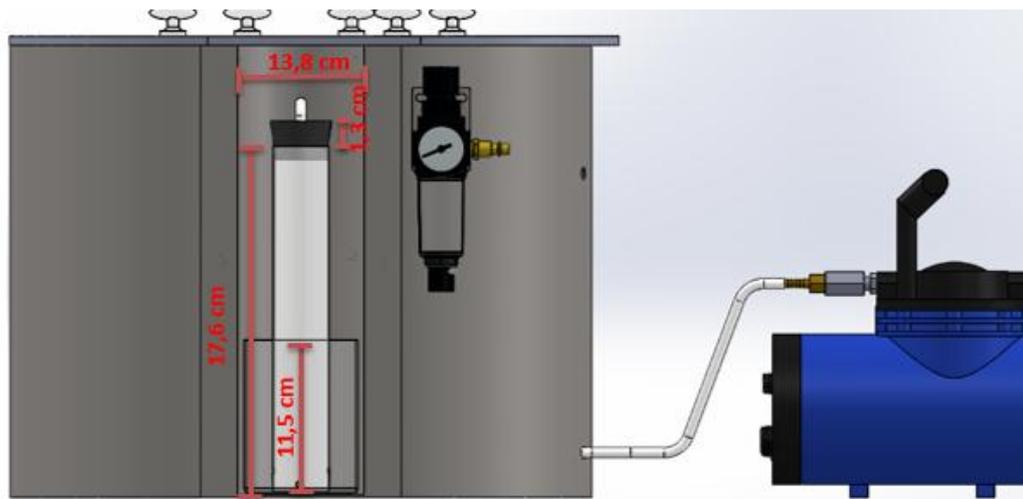


Figura 10-3: Vista posterior dispositivo piloto para adsorción de BTEX
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., ESPOCH, 2016.

3.2.9 Selección de la bomba

Es muy habitual en el transporte de fluidos utilizar elementos mecánicos que aportan energía y presión al mismo para favorecer o incluso posibilitar su movimiento y transporte. Estos elementos reciben el nombre de bombas, la potencia de la bomba se puede determinar a partir de cálculos mecánicos.

3.2.9.1 Cálculos de la potencia de la bomba

Tabla 13-3: Datos experimentales Perdida de Carga

Q (ml/min)	Temperatura °C	ρ (kg/m ³)	μ (Ns/m ²)
50	35	1,145	0,00001885

Fuente: OCÓN. GARCÍA. Elementos de Ingeniería Química..., Pp778

Tabla 14-3: Datos adicionales

Material	Rugosidad	Diámetro Interno (mm)	Longitud (m)	Número de secciones	Longitud total (m)	Caudal (ml)
Vidrio	0	6	0,007	4	0,028	50
Silicona	0,01	8	0,3	2	0,6	200
			0,2	4	0,8	100
			0,25	8	2	50

Fuente: ROBERT H. PERRY., DON W. WREEN., Chemical Engineers Handbook., Sección 5 ., Pp 28,
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., 2016.

Tabla 15-3: Datos adicionales para accesorios

Accesorio	Constante K	Numero de accesorios
Válvula	20	5
Te	0,9	6
Obstrucción	0,5	4

Fuente: ROBERT H. PERRY., DON W. WREEN., Chemical Engineers Handbook., Sección 5 ., Pp 42

Tabla 16-3: Simbología para determinación de la potencia de la bomba

Nº	Variable	Símbolos	Unidad
1	Caudal	Q	ml/min
2	Densidad	ρ	kg/ m ³
3	Viscosidad	μ	Ns/m ²
4	Rugosidad	E	Adimensional
5	Diámetro interno	Di	M
6	Área	A	m ²
7	Velocidad	v	m/s
8	Reynol	Re	Adimensional
9	Fanning	f	Adimensional
10	Perdida por accesorios	Hr	M
11	Longitud total	L	M
12	Potencia de la bomba	Hp	Hp

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

3.2.9.1.1 Vidrio

3.2.9.1.1.1 Rugosidad

$$\frac{E}{Di} = \frac{0}{0,006} = 0$$

3.2.9.1.1.2 Caudal

$$Q = \left(\frac{50\text{mL}}{\text{min}}\right) \left(\frac{1\text{L}}{1000\text{mL}}\right) \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}}\right) \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}}\right) = 8,333\text{E}^{-7} \text{m}^3/\text{s}$$

3.2.9.1.1.3 Área

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0,006m)^2}{4} = 2,8274E^{-5}m^2$$

3.2.9.1.1.4 Velocidad

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{8,333E^{-7} m^3/s}{2,8274E^{-5}m^2} = 0,0294 m/s$$

3.2.9.1.1.5 Reynol

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$Re = \frac{(1,145kg/m^3)(0,0294 m/s)(0,006m)}{1,885E^{-5}Ns/m^2} = 10,7416$$

3.2.9.1.1.6 Fanning

Condiciones

- Régimen laminar

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$f = \frac{64}{10,7416} = 5,9581$$

3.2.9.1.1.7 Perdidas por accesorios

$$Hr = \left[\frac{fL}{D} + \sum k \right] \frac{v^2}{2g}$$

$$Hr = \left[\frac{(5,9581)(0,28)}{0,006} + (0,5 * 4) \right] \frac{(0,0294 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} = 0,0124\text{m}$$

3.2.9.1.2 Silicona

3.2.9.1.2.1 Rugosidad

$$\frac{E}{Di} = \frac{0,01}{0,008} = 0,00125$$

3.2.9.1.2.2 Caudal

$$Q = \left(\frac{200\text{mL}}{\text{min}} \right) \left(\frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} \right) \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} \right) \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}} \right) = 3,3333\text{E}^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = \left(\frac{100\text{mL}}{\text{min}} \right) \left(\frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} \right) \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} \right) \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}} \right) = 1,6666\text{E}^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = \left(\frac{50\text{mL}}{\text{min}} \right) \left(\frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} \right) \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} \right) \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}} \right) = 8,3333\text{E}^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

3.2.9.1.2.3 Área

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0,008m)^2}{4} = 5,0265E^{-5}m^2$$

3.2.9.1.2.4 Velocidad

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v_1 = \frac{3,3333E^{-6} m^3/s}{5,0265E^{-5}m^2} = 0,0663 m/s$$

$$v_2 = \frac{1,6666E^{-6} m^3/s}{5,0265E^{-5}m^2} = 0,0332 m/s$$

$$v_3 = \frac{8,3333E^{-7} m^3/s}{5,0265E^{-5}m^2} = 0,0166 m/s$$

3.2.9.1.2.5 Reynol

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$Re_1 = \frac{(1,145kg/m^3)(0,0663 m/s)(0,008m)}{1,885E^{-5}Ns/m^2} = 32,2179$$

$$Re_2 = \frac{(1,145kg/m^3)(0,0332 m/s)(0,008m)}{1,885E^{-5}Ns/m^2} = 16,1125$$

$$Re_3 = \frac{(1,145kg/m^3)(0,0166 m/s)(0,008m)}{1,885E^{-5}Ns/m^2} = 8,0562$$

3.2.9.1.2.6 Fanning

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$f_1 = \frac{64}{32,2179} = 1,9860$$

$$f_2 = \frac{64}{16,1125} = 3,9720$$

$$f_3 = \frac{64}{8,0562} = 7,9441$$

3.2.9.1.2.7 Perdidas

$$Hr = \left[\frac{fL}{D} + \sum k \right] \frac{v^2}{2g}$$

$$Hr = \left[\frac{(1,9860)(0,6)}{0,008} + (20) \right] \frac{(0,0663 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} = 0,03790m$$

$$Hr = \left[\frac{(7,9441)(0,8)}{0,008} + (0,9 * 6) \right] \frac{(0,0332 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} = 0,0225m$$

$$Hr = \left[\frac{(7,9441)(2)}{0,008} + (20 * 4) \right] \frac{(0,0166 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} = 0,0289m$$

$$HrT = Hr + Hr_1 + Hr_2 + Hr_3$$

$$HrT = 0,0124m + 0,03790m + 0,0225m + 0,0289m$$

$$HrT = 0,1018m$$

3.2.9.1.2.8 Potencia de la bomba

$$Hp = \frac{\rho h H_r t}{70\%}$$

$$Hp = \frac{\left(\frac{1,145kg}{m^3} \right) (0,36m) 0,1018m}{0,7} = 0,0599Hp$$

3.2.10 Características y materiales usados para la construcción

Tabla 17-3: Características de los componentes del dispositivo

Componente del Dispositivo	Característica
----------------------------	----------------

Cuerpo del sistema de Adsorción	
Cuerpo de sistema de adsorción	Unido con mangueras de silicona y yes de vidrio
Calibrador	Consta de un vaso de precipitación , probeta y agua jabonosa
Bomba	Libre de aceite
Válvulas	Vidrio
Termohidrómetro y Barómetro	Medidor de temperatura, humedad y presión atmosférica.
Cronometro	Medición de tiempo
Timer	Apagado automático del dispositivo
Filtro	
Tubo	Vidrio
Espuma de poliuretano	Poroso
Carbón activado	Granular fino de grado reactivo
Unidad de mantenimiento	Evita la entrada de polvo hacia el carbón

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

El diseño del dispositivo es de tipo mecánico, y se define como un muestreador activo es decir automático y de tendencia eléctrica. Cada uno de los componentes se detalla a continuación:

3.2.10.1 Cuerpo de sistema de adsorción.

El cuerpo del sistema de adsorción consta de: un barómetro, termohidrómetro, un cronometro, válvulas, bomba, calibrador. Todo esto unido con mangueras se silicón.

Bomba.- La bomba que utilizaremos en este caso es una bomba de aire eléctrica de 120 voltios 1/10 HP de potencia, esta deberá ser libre de aceite para evitar contaminaciones y por lo tanto falsos resultados en la medición de los compuestos orgánicos volátiles, además que esta debe ser de fácil movilización para no complicar los procesos de toma de muestra.

Este dispositivo de succión que produce un vacío máximo de 560 mmHg. La unidad está equipada con una botella de recolección de 800cc y está diseñada para recolectar fluidos.

La cual se deberá ajustar a un flujo de 200 ml por minuto mediante el método de la burbuja para la adsorción de BTEX.

Características:

Rango de flujo > 40 LPM

Nivel de ruido < 58 dBA

Temperatura de operación 32° ~ 104° F (0° ~ 40°C)

Humedad de operación 95% RH

Presión atmosférica de operación 10.2 ~15.4 psi (70 ~106 kpa)

Temperatura de almacenamiento 14° ~ 158° F (-10° ~ 70°C)

Humedad de almacenamiento 0 ~ 95%

Presión atmosférica de almacenamiento 7.3 ~15.4 psi (50 ~106 kpa)

Calibrador de la bomba.- Este instrumento constara de un vaso de precipitación de 500 ml en el cual se colocara agua jabonosa además de una probeta de 250 ml que constara de 4 agujeros con el mismo diámetro que permita el ingreso de aire. Para la calibración se abrirá la válvula que se dirigirá hacia el calibrador esperado que forme una burbuja y regulado la potencia de la bomba hasta que la burbuja suba 200ml de la probeta o el volumen de aire que se desea que ingrese al dispositivo de adsorción en un minuto exacto.

Cronómetro.- este es un complemento del calibrador de la bomba el cual se ocupa para medir un volumen exacto en un tiempo definido.

Tubería.- La tubería a utilizar será de silicona, consiguiendo así resultados más confiables aire pasara por la tubería luego de haber pasado por el filtro. La tubería constara también de válvulas las cuales ayudaran a regular el flujo de aire que entra en el dispositivo.

Válvulas.- Para permitir el paso de aire a cada uno de los filtros incorporaremos válvulas de vidrio siendo este un material adecuado que no producirá ninguna reacción con el contaminante a analizar ni producir acumulaciones del mismo.

Timer.- Ayudara a controlar el tiempo en el que la bomba estará encendida, con esto evitaremos pérdidas de energía eléctrica que implican costos de operación y además una mayor precisión en la medición de los BTEX.

3.2.10.2 Filtro.

Tubo de vidrio.- El tubo de vidrio se eligió por razones tanto técnicas como económicas. Ya que este además de tener un bajo costo, después de esterilización por autoclave puede ser utilizado nuevamente y la muestra se puede almacenar en el mismo. Este material además no afecta a los resultados de concentración de compuestos orgánicos volátiles.

Carbón activado.- Para mejores resultados se debe utilizar carbón activado grado reactivo, mineral, de tipo granular fino y ultra puro. Ayudará a obtener resultados muy reales que dependerán únicamente de la manipulación al manejar el dispositivo y durante la preparación del filtro. Otra característica muy especial del carbón será su forma puesto que se utilizara un carbón en forma de esferas el cual es más adecuado para este tipo de muestreos en aire.

Espuma de poliuretano.- Es un material plástico poroso e inerte que ayuda a afirmar el carbón dentro del tubo y para la retención de las partículas que puedan afectar la muestra. Por otro lado ayudara a la retención de polvos o partículas grandes o incluso agua que puedan afectar el proceso o incluso dañar algún componente del dispositivo.

Termohidrómetro y Barómetro.- Para medición de temperatura, humedad y presión del ambiente puesto que para este tipo de mediciones se necesitara que la temperatura no sobrepase los 45 grados centígrados y la humedad se encuentre hasta en un 60 % para que no afecte la toma de muestra.

Unidad de mantenimiento.- Ayuda a la depuración de polvo y mantenimiento de la bomba y el sistema de tuberías.

3.2.11 Determinación del tiempo óptimo de muestreo

Tabla 18-3: Datos experimentales para la determinación del tiempo óptimo de muestreo

Compuesto	Masa (ug)	Masa (g)	Fracción	Peso molecular (g/mol)	P' (mmHg)=fs	T ebullición °C	P(mmHg)	Densidad del líquido
Benceno	0,2	0,0002	7,27673E-06	78,11	155,28	80,1	760	0,876

Etilbenceno	0,67	0,00067	2,4377E-05	106,17	17,165	136,2	760	0,866
Tolueno	2,1	0,0021	7,64057E-05	92,14	47,53	111	760	0,8669
Xileno	1,9	0,0019	6,91289E-05	106,16	12,23	144	760	0,865
Aire		27,48						
Masa total		27,48487						

Fuente: ROBERT H. PERRY., DON W. WREEN., Chemical Engineers Handbook., sección 2 .Pp 57 -75

Tabla 19-3: Datos adicionales para determinación del tiempo óptimo de muestreo

Volumen de aire (L)	Temperatura ambiente (°C)	Diámetro del tubo (cm)	Caudal (cm ³ /min)	Longitud del lecho (cm)	Longitud del Tubo (cm)	Masa de carbón (g)	Densidad del aire (g/l)
24	35	0,6	50	1	7	0,15	1,145

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

Tabla 20-3: Simbología para determinación del tiempo óptimo de muestreo

Nº	Variable	Símbolos	Unidad
1	Peso molecular	PM	g/mol
2	Densidad del gas	ρ_g	g/cm ³
3	Fugacidad	f	mmHg
4	Presión de vapor	P ^v	mmHg
5	Temperatura de Ebullición	T	°C
6	Presión total	P	mmHg
7	Concentración analito	---	%
8	Diámetro de la partícula	D _p /D _t	m, ft
9	Fracción externa de huecos del lecho	ϵ	----
10	Presión parcial	p	mmHg
11	Fugacidad del líquido saturado	f _s	mmHg
12	Trabajo generado	W	g/g carbón
13	Concentración en la alimentación	C _o	g/cm ³

14	Volumen molar	V	cm ³ /mol
15	Volumen del lecho	\bar{V}	cm ³
16	Altura ocupada por carbón activado	h	Cm
17	Radio	r	Cm
18	Diámetro del tubo	D	Cm
19	Velocidad superficial del fluido	v_0	cm/s
20	Caudal	Q	cm ³ /min
21	Área	A	cm ²
22	Longitud lecho	L	Cm
23	Densidad del lecho	ρ_b	g/cm ³
24	Fracción de benceno	Xb	---

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

3.2.11.1 Benceno

3.2.11.1.1 Presión parcial y fugacidad

$$p = Xb * P$$

$$p = 7,27673E - 06 * 760mmHg = 0,005530315 mmHg \approx f$$

3.2.11.1.2 Volumen Molar

$$V = \frac{\text{Peso Molecular}}{\rho_g}$$

$$V = \frac{78,11g/mol}{0,876g/cm^3}$$

$$V = 89,166 \text{ cm}^3/mol$$

3.2.11.1.3 Carga del Adsorbato

$$\frac{T}{V} \log \frac{f_s}{f}$$

$$\frac{308,15^\circ K}{89,166 \text{ cm}^3/\text{mol}} \log \frac{155,28 \text{ mmHg}}{0,005530315 \text{ mmHg}} = 15,3655$$

En la figura 25.4., WARREN L. MCCABE., JULIAN C. SMITH., PETER HARRIOTT., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., 7^{ma}.ed., México., 2007., Pp 883

12cm³ por cada 100g de carbon

3.2.11.1.4 Carga de adsorbato

$$W = \frac{12 \text{ cm}^3}{100} * \rho_L$$

$$W = \frac{12 \text{ cm}^3}{100} * 0,876 \text{ g}/\text{cm}^3 = 0,10512 \text{ g}/\text{g carbón}$$

3.2.11.1.5 Área del lecho

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0,6 \text{ cm})^2}{4} = 0,2827 \text{ cm}^2$$

3.2.11.1.6 Velocidad del lecho

$$v_0 = \frac{Q}{A}$$

$$v_0 = \frac{\frac{50 \text{ cm}^3}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}}{0,2827 \text{ cm}^2} = 2,947 \text{ cm/s}$$

3.2.11.1.7 Volumen del lecho

$$\bar{V} = \pi(r)^2 h$$

$$\bar{V}_0 = \pi (0,3 \text{ cm})^2 * 1 \text{ cm} = 0,2827 \text{ cm}^3$$

3.2.11.1.8 Concentración en la alimentación

$$C_0 = \frac{Xb}{V} * \frac{273^\circ \text{K}}{T} * \text{Peso Molecular}$$

$$C_0 = \frac{Xb}{89,166 \text{ cm}^3/\text{mol}} * \frac{273^\circ \text{K}}{308^\circ \text{K}} * 78,11 \text{ g/mol} = 5,65005 \text{ E}^{-6} \text{ g/cm}^3$$

3.2.11.1.9 Densidad del lecho

$$\rho_b = \frac{\text{g carbon}}{\bar{V}}$$

$$\rho_b = \frac{0,15 \text{ g de carbon}}{0,2827 \text{ cm}^3} = 0,5305 \text{ g carbon/cm}^3$$

3.2.11.1.10 Tiempo ideal de adsorción

$$t^* = \frac{L\rho_b W}{v_0 C_0}$$

$$t^* = \frac{7\text{cm} * 0,5305 \text{ gcarbon/cm}^3 * 0,10512 \text{ g/g carbon}}{2,947 \text{ cm/s} * 5,65005E^{-6} \text{ g/cm}^3} = 23438,2107\text{s} = 6,511 \text{ h}$$

Tabla 21-3: Resultados del tiempo óptimo de adsorción

Compuesto	Presión parcial y fugacidad (mmHg)	Volumen molar(cm ³ /mol)	(T/V) log (fs/f)	Gráfica (cm ³ /100g)
Benceno	0,005530315	89,16666667	15,36556947	12
Tolueno	0,018526557	122,5981524	7,453534207	32
Etilbenceno	0,058068312	106,2867689	8,441434641	30
Xileno	0,052537996	122,7283237	5,94012439	38
Carga del adsorbato (g/g carbón)	Área del lecho (cm ²)	Velocidad (cm/s)	Volumen del lecho (cm ³)	
0,10512	0,282744	2,947306869	0,282744	
0,27712	0,282744	2,947306869	0,282744	
0,26007	0,282744	2,947306869	0,282744	
0,3287	0,282744	2,947306869	0,282744	
Concentración en la alimentación (g/cm ³)	Densidad del lecho (gcarbón/cm ³)	Tiempo ideal de adsorción(h)		
5,65005E-06	0,530515236	6,511799969		
1,87116E-05	0,530515236	5,183522364		
5,87093E-05	0,530515236	1,550428564		
5,30015E-05	0,530515236	2,17059999		

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

Los tiempos de adsorción para benceno, tolueno, etilbenceno y xileno varían debido a que se trabaja con gases diferentes es por tal razón que se toma al benceno como tiempo óptimo de adsorción para dichos compuestos orgánicos volátiles, por lo cual se asigna un tiempo de seguridad de 8 horas de adsorción para dichos analitos.

3.2.12 Determinación de la Caída de presión

Es la disminución de la presión del fluido, dentro de un conducto, que tiene lugar cada vez que dicho fluido atraviesa un estrangulamiento o un elemento de utilización. La ecuación de Ergun es adecuada para datos obtenidos con esferas, cilindros y sólidos triturados.

Tabla 22-3: Datos adicionales para la Caída de presión

No	Variable	Unidad	Valor
1	Φ_s	Adimensional	0,73
2	P	lb/ft ³	0,0714
3	M	lb/ft s	1,27E ⁻⁵
4	Malla 35x35	Ft	0,00164
5	v_0	ft/s	0,096
6	D	Ft	0,00164
7	Longitud	Ft	0,2296

Fuente: WARREN L. MCCABE, JULIAN C. SMITH., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., Pp174., Pp.19-20

Tabla 23-3: Fracciones huecas para empaques apilados o rellenos al azar

Dp/Dt	ϵ para esferas	ϵ para cilindros
0	0,34	0,34
0,1	0,38	0,35
0,2	0,42	0,39
0,3	0,46	0,45
0,4	0,50	0,53
0,5	0,55	0,60

Fuente: WARREN L. MCCABE, JULIAN C. SMITH., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., Pp177.

Tabla 24-3: Simbología para determinación de caída de presión

Nº	Variable	Símbolos	Unidad
1	Esfericidad	Φ_s	Adimensional.
2	Densidad del aire 35°C	ρ	lb/ft ³
3	Viscosidad del aire a 35°C	μ	lb/ft s
4	Velocidad superficial del fluido	v_0	ft/s
5	Diámetro de la partícula 0,5 mm	D	ft)
6	Malla 35x35 0,5mm	----	ft

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 v_0 \mu \times (1 - \varepsilon)^2}{\Phi_s^2 D_p^2 \varepsilon^3} + \frac{1,75 \rho v_0^2 \times (1 - \varepsilon)}{\Phi_s D_p \varepsilon^3}$$

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 * 0,096 \text{ ft/s} * 1,27E^{-5} \times (1 - 0,35)^2}{(32,2 * 0,73)^2 * (0,00164 \text{ ft})^2 \cdot 0,35^3} + \frac{1,75 * 0,0714 \text{ lb/ft}^3 (0,095 \text{ ft/s})^2 \times (1 - 0,35)}{(32,2 * 0,73) * 0,00164 \text{ ft} \cdot 0,35^3}$$

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{0,000180975}{0,00148609} \times \frac{0,4225}{0,042875} + \frac{0,001127673}{0,03854984} \times \frac{0,65}{0,042875}$$

$$\frac{\Delta p}{L} = 1,200040777 + 0,443475693$$

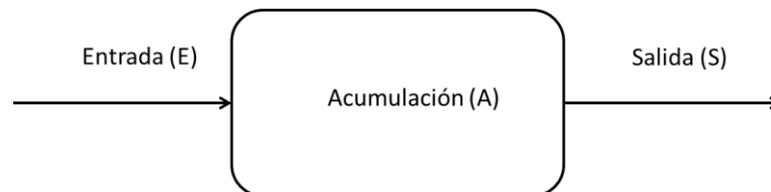
$$\frac{\Delta p}{L} = 1,64 \text{ lb/ft}^2 \text{ ft}$$

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{1,64 \text{ lb/ft}^2 \text{ ft} \times 12}{64,2} = 0,31 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$\Delta p = 0,31 \text{ in} \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{ft}} \times 0,2296 \text{ ft}$$

$$\Delta p = 0,0714 \text{ in H}_2\text{O}$$

3.2.13 Balance de masa



$$E = S + A$$

$$E(X_E) = S(X_S) + A(X_A)$$

Tabla 25-3: Datos experimentales del Carbón Activado y Resina para el balance de masa

Aire		Planta de gas	Refinería	Campamento

Volumen (L)	Compuesto	Presente en aire (μg)	Adsorbido por carbón (μg)	Presente en aire (μg)	Adsorbido por carbón(μg)	Presente en aire (μg)	Adsorbido por carbón (μg)
24	Benceno	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Etilbenceno	0,4	0,4	1,2	1,4	0,2	0,2
	Tolueno	2,1	2,7	2,1	1,6	0,2	0,4
	Xileno	1,2	1,1	4,6	4,1	0,2	0,2

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

Tabla 26-3: Datos Adicionales para balance de masa

Compuesto	Densidad(g/L)
Aire	1,145

Fuente: OCÓN. GARCÍA., Elementos de Ingeniería Química..., Pp778

Tabla 27-3: Simbología para determinación de balance masa individual de BTEX

Nº	Variable	Símbolos	Unidad
1	Masa de aire	m_A	g
2	Densidad del aire	ρ	g/l
3	Volumen de aire	V	l
4	Entrada	E	g
5	Masa del compuesto	m_i	g
6	Salida	S	g
7	Acumulación	A	g
8	Fracción de alimentación	X_E	---
9	Fracción en la acumulación	X_A	---
10	Fracción en la salida	X_S	---

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

3.2.13.1 Cálculos de balance de masa individuales

3.2.13.1.1 Benceno

3.2.13.1.1.1 Transformación de unidades

$$\mu\text{g} * \frac{1 \text{ g}}{1000\mu\text{g}}$$

$$0,2\mu\text{g} * \frac{1 \text{ g}}{1000\mu\text{g}} = 0,0002\text{g}$$

3.2.13.1.1.2 Masa de aire

$$m = \rho * V$$

$$m_A = 1,145 \text{ g/L} * 24\text{L} = 27,48\text{g}$$

3.2.13.1.1.3 Masa en la alimentación

$$E = m_i + m_A$$

$$E = 0,0002\text{g} + 27,48\text{g} = 27,4802\text{g}$$

3.2.13.1.1.4 Masa a la salida

$$E = S + A$$

$$S = E - A$$

$$S = 27,4802\text{g} - 0,0002 \text{ g} = 27,48\text{g}$$

3.2.13.1.1.5 Fracción en la Alimentación (X_E)

$$X_E = \frac{m_i}{E}$$

$$X_E = \frac{0,0002\text{g}}{27,4802\text{g}} = 7,2779\text{E} - 06$$

3.2.13.1.1.6 Fracción en la salida (X_S)

$$E(X_E) = S(X_S) + A(X_A)$$

$$X_S = \frac{E(X_E) - A(X_A)}{S}$$

$$X_S = \frac{E(X_E) - A(X_A)}{S}$$

$$X_S = \frac{27,4802g(7,2779E - 06) - 0,0002g(1)}{27,48g} = 0$$

3.2.13.1.1.7 Eficiencia

$$eficiencia = \frac{A * 100}{m_i}$$

$$eficiencia = \frac{0,0002g * 100}{0,0002g} = 100\%$$

Tabla 28-3: Tabla de resultados balance de masa individual BTEX

Balance de Masa Individual BTEX								
Planta De Gas								
Compuesto	Masa (g)	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48							
Benceno	0,0002	27,480	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0
Etilbenceno	0,0004	27,480	0,0004	100	27,48	1,45558E-05	1	0

Tolueno	0,0021	27,482	0,0027	128,5714	27,48	7,64134E-05	1	-2,18E-05
Xileno	0,0012	27,481	0,0011	91,66667	27,48	4,36662E-05	1	3,64E-06
Refinería								
Compuesto	Entrada (g)	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48							
Benceno	0,0002	27,480	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0
Etilbenceno	0,0012	27,481	0,0014	116,6667	27,479	4,36662E-05	1	-7,28E-06
Tolueno	0,0021	27,482	0,0016	76,19047	27,481	7,64134E-05	1	1,87E-05
Xileno	0,0046	27,485	0,0041	89,13044	27,481	0,000167366	1	1,87E-05
Campamento								
Compuesto	Entrada (g)	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48							
Benceno	0,0002	27,480	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0
Etilbenceno	0,0002	27,480	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0

Tolueno	0,0002	27,480	0,0004	200	27,47 9	7,27797E-06	1	-7,278E-06
Xileno	0,0002	27,480	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

3.2.13.2 Cálculos de balance de masa global BTEX

3.2.13.2.1 Masa en la acumulación

$$A = \sum m_i$$

$$A = 0,2g + 0,4 + 2,1 + 1,2g = 3,9g$$

3.2.13.2.2 Transformación de unidades

$$\mu g * \frac{1 g}{1000 \mu g}$$

$$3,9 \mu g * \frac{1 g}{1000 \mu g} = 0,0039g$$

3.2.13.2.3 Masa de aire

$$m = \rho * V$$

$$m_A = 1,145 \text{ g/L} * 24L = 27,48g$$

3.2.13.2.4 Masa en la alimentación

$$m_T = \sum m_i + m_A$$

$$E = 0,0002g + 0,0004 + 0,0021 + 0,0012g + 27,48g = 27,4839g$$

3.2.13.2.5 Masa a la salida

$$E = S + A$$

$$S = E - A$$

$$S = 27,4839g - 0,0039g = 27,48g$$

3.2.13.2.6 Fracción en la Alimentación (X_E)

$$X_E = \frac{m_i}{E}$$

$$X_E = \frac{0,0039g}{27,4839g} = 0,00014$$

3.2.13.2.7 Fracción en la salida (X_S)

$$E(X_E) = S(X_S) + A(X_A)$$

$$X_S = \frac{E(X_E) - A(X_A)}{S}$$

$$X_S = \frac{E(X_E) - A(X_A)}{S}$$

$$X_S = \frac{27,4839g(0,00014) - 0,0039g(1)}{27,48g} = -1,8195E^{-5}$$

3.2.13.2.8 Eficiencia

$$eficiencia = \frac{A * 100}{m_i}$$

$$eficiencia = \frac{0,0002g * 100}{0,0002g} = 100\%$$

Tabla 29-3: Resultados de balance de masa global BTEX

Balance de Masa Global BTEX							
Planta De Gas							
Compuesto	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48						
BTEX	0,0039	0,0044	112,820513	27,4795	0,000141901	1	-1,81954E-05
Alimentación	27,4839						
Refinería							
Compuesto	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48						
BTEX	0,0081	0,0073	90,1234568	27,4808	0,000294673	1	2,91112E-05
Alimentación	27,4881						
Campamento							

Compuesto	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48						
BTEX	0,0008	0,001	125	27,4798	2,91112E-05	1	-7,27807E-06
Alimentación	27,4808						

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH., 2016,

Tabla 30-3: Comparación de resultados Resina vs Carbón activado

Compuesto	Norma (µg/L)	Resina			Carbón Activado		
		Planta de gas (µg/L)	Refinería (µg/L)	Campamento (µg/L)	Planta de gas (µg/L)	Refinería (µg/L)	Campamento (µg/L)
Benceno	1,62	0,0083333 3	0,0083333 3	0,008333333	0,00833333	0,00833333	0,008333333
Etilbenceno	434	0,0166666 6	0,05	0,008333333	0,01666666	0,05833333	0,008333333
Tolueno	377	0,0875	0,0875	0,016666667	0,1125	0,06666666	0,016666667
Xileno	434	0,05	0,1916666 6	0,008333333	0,04583333	0,17083333	0,008333333

Fuente: Directiva Europea de Calidad del Aire (2000/69/CE). RD 1073/2002 (España). Valor límite exigible a partir del 1 de enero de 2010

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Benzene. 2005

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Toluene. 2005.

World Health Organisation (WHO). Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23, 2nd edition, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2000

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Xylenes. 2005

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Ethylbenzene. 2005

LABORATORIO GRUNTEC., Resultados BTEX EN RESINA., Mayo 2015.

LABORATORIO GRUNTEC., Resultados BTEX CARBÓN ACTIVADO., Noviembre., 2015

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., 2016.

3.2.14 Validación del dispositivo piloto

Para la validación del dispositivo piloto a base de carbón activado para adsorción de compuestos orgánicos volátiles como benceno, tolueno, etilbenceno y xileno en aire ambiente en el complejo industrial Shushufindi se procedió a realizar la toma de muestra para la verificación del funcionamiento óptimo del dispositivo con la finalidad de descartar dificultad alguna en algún tipo de muestreo; teniendo de esta manera resultados acorde a lo requerido como se puede evidenciar en el reporte de análisis, realizado en el laboratorio Gruntec en la ciudad de Quito.

Tabla 31-3: Reporte de análisis validación del dispositivo piloto

Rotulación Muestra:	Trabajador 1	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	n.d	
No. Reporte Gruntec:	1511423-S001	
<i>Compuestos Orgánicos Volátiles: ^{a)}</i>		
Benceno mg *	0.0068	EPA 8260 C
Etilbenceno mg *	0.0033	EPA 8260 C
Tolueno mg *	0.0095	EPA 8260 C
m+p-xileno mg *	0.0054	EPA 8260 C
O-xileno mg *	0.0011	EPA 8260 C

LABORATORIO GRUNTEC., Resultados BTEX CARBON ACTIVADO., Abril., 2016.

3.2.14.1 Funcionamiento del dispositivo piloto para adsorción de BTEX



Figura 11-3: Explicación del procedimiento para la toma de muestra de BTEX
Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., ESPOCH, 2016.



Figura 12-3: Adición de BTEX para adsorción
Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., ESPOCH, 2016.



Figura 13-3: Personal receptor de la validación del dispositivo piloto
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

3.2.14.2 Eficiencia en la validación

Luego del proceso de toma de muestra y análisis por cromatografía de gases se determinó que la eficiencia del dispositivo es del 94 %, que refleja la confiabilidad del método.

Tabla 32-3: Eficiencia en la validación

Compuesto	Masa inicial (mg)	Masa detectada (mg)	Eficiencia (%)
Benceno	0,0074	0,0068	91,9
Etilbenceno	0,004	0,0033	82,5
Tolueno	0,1	0,095	95,0
Xileno	0,0073	0,0065	89,0
BTEX	0,1187	0,1116	94,0
No adsorbido		0,0008	6

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., 2016.

3.2.14.2.1 Diagramas de Adsorción:

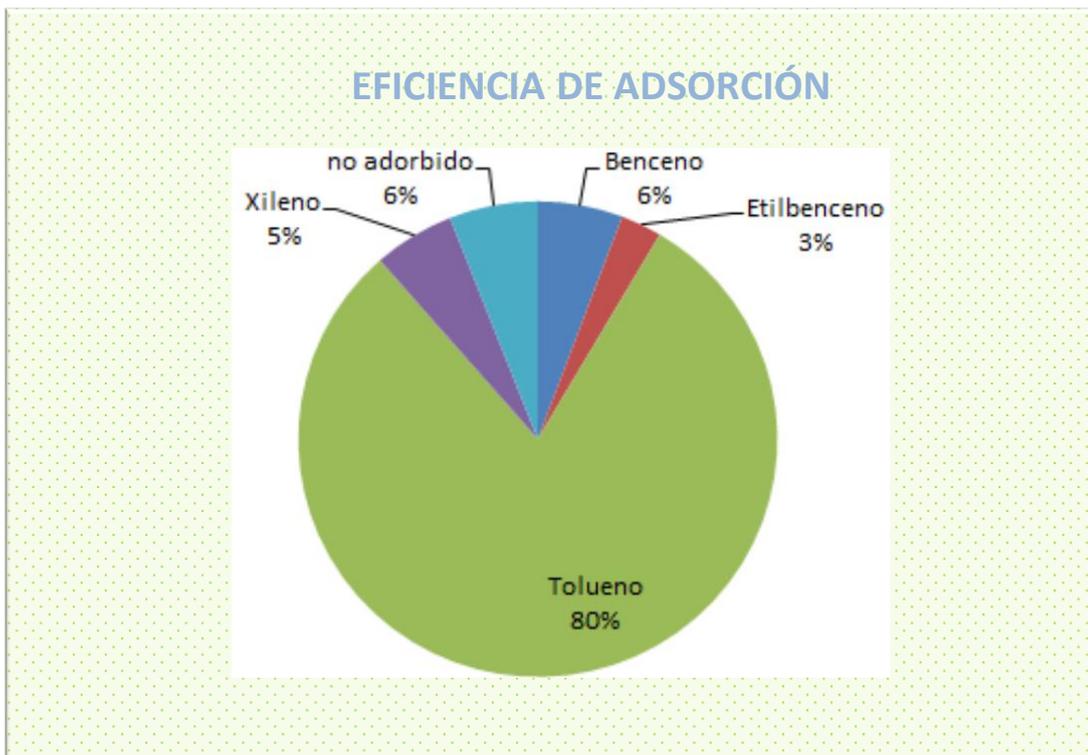


Figura 14-3: Eficiencia de adsorción de BTEX
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., ESPOCH, 2016.

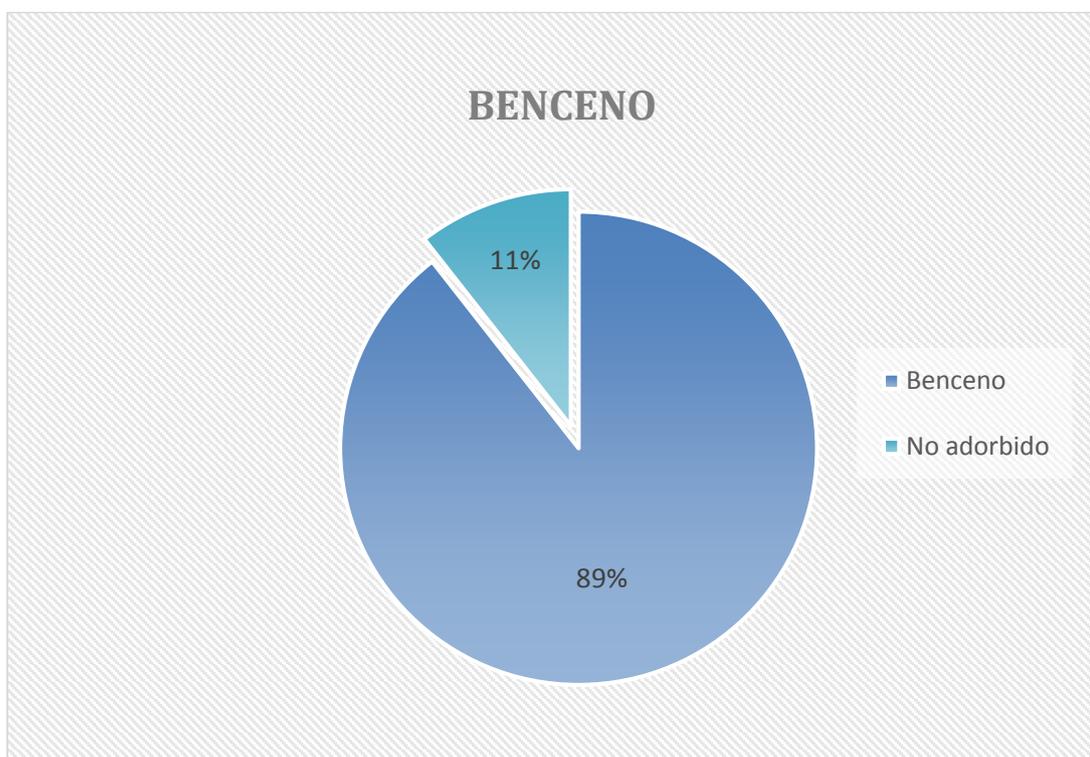


Figura 15-3: Eficiencia de adsorción de Benceno
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., ESPOCH, 2016.

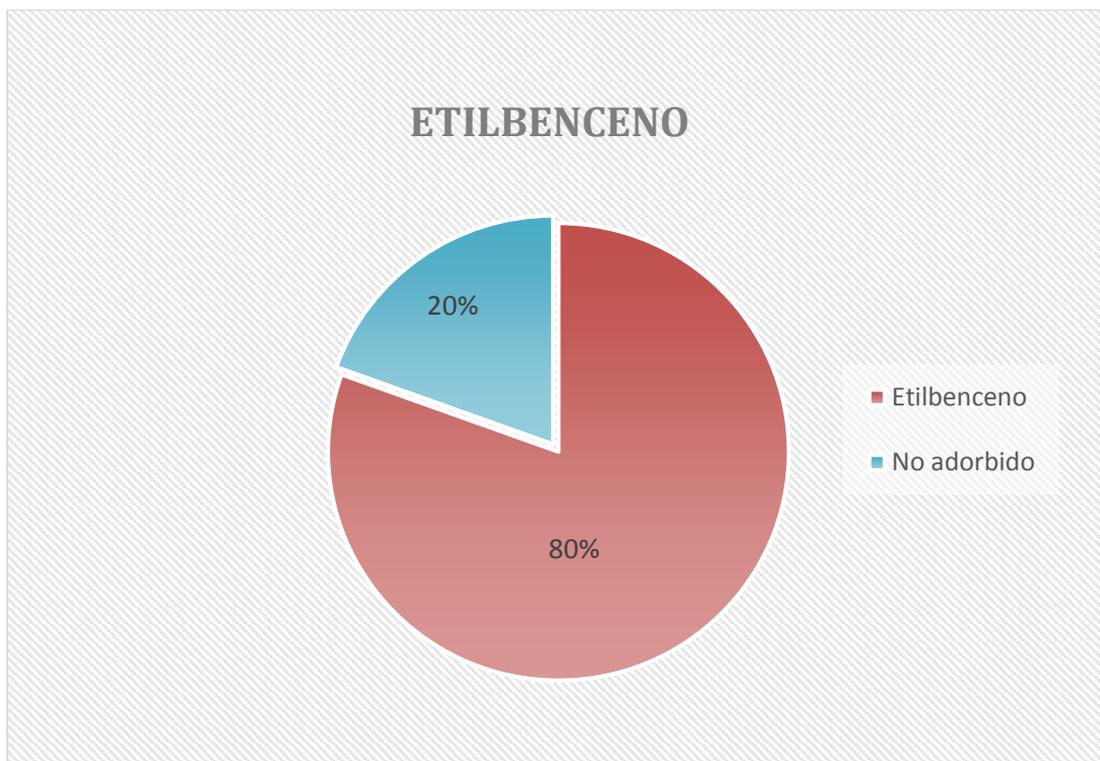


Figura 16-3: Eficiencia de adsorción de Etilbenceno
Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

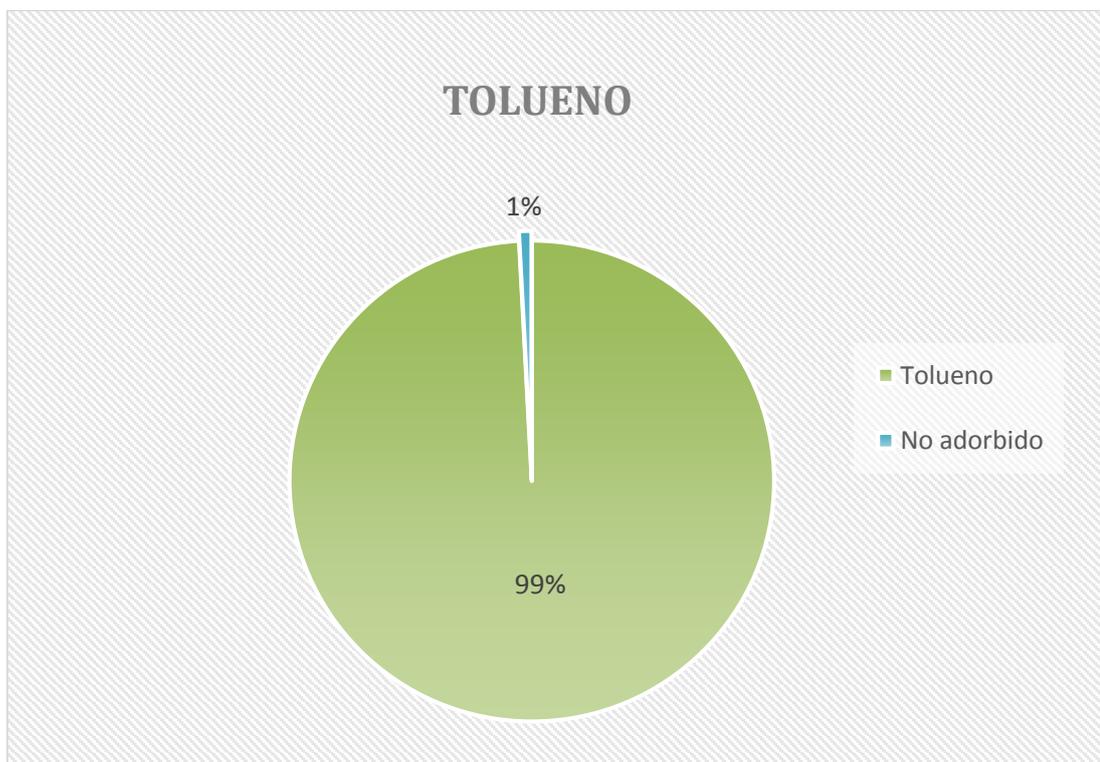


Figura 17 -3: Eficiencia de adsorción de Tolueno
Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

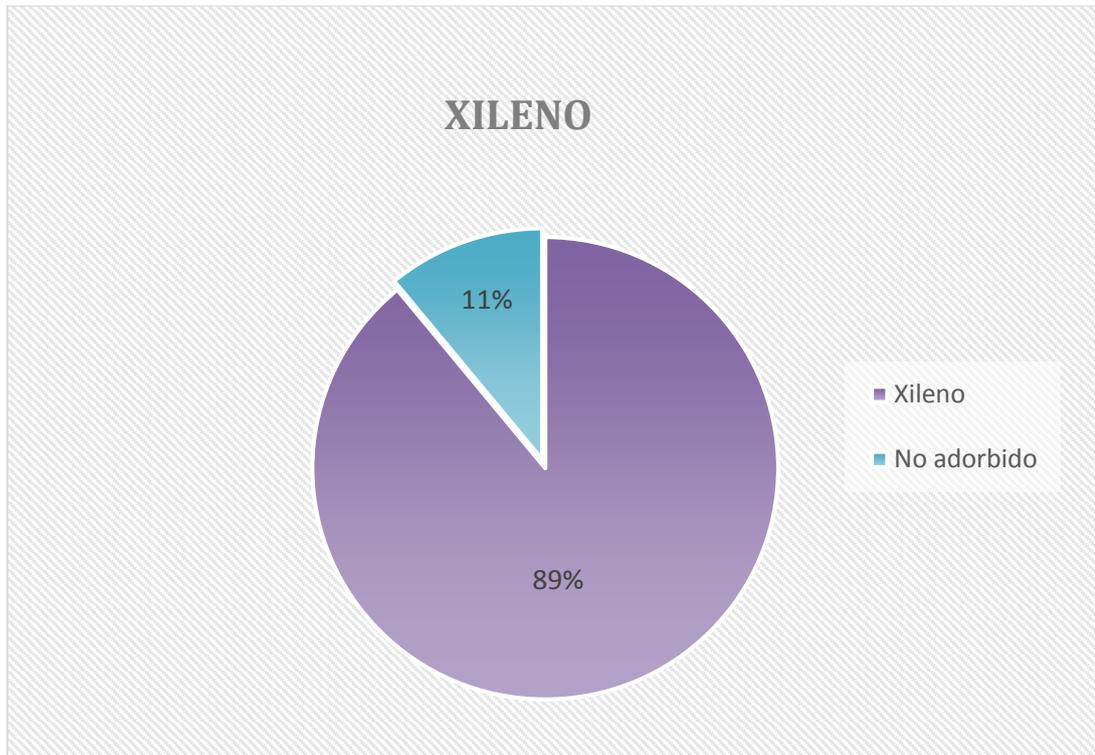


Figura 18-3: Eficiencia de adsorción de Xileno
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., ESPOCH, 2016.

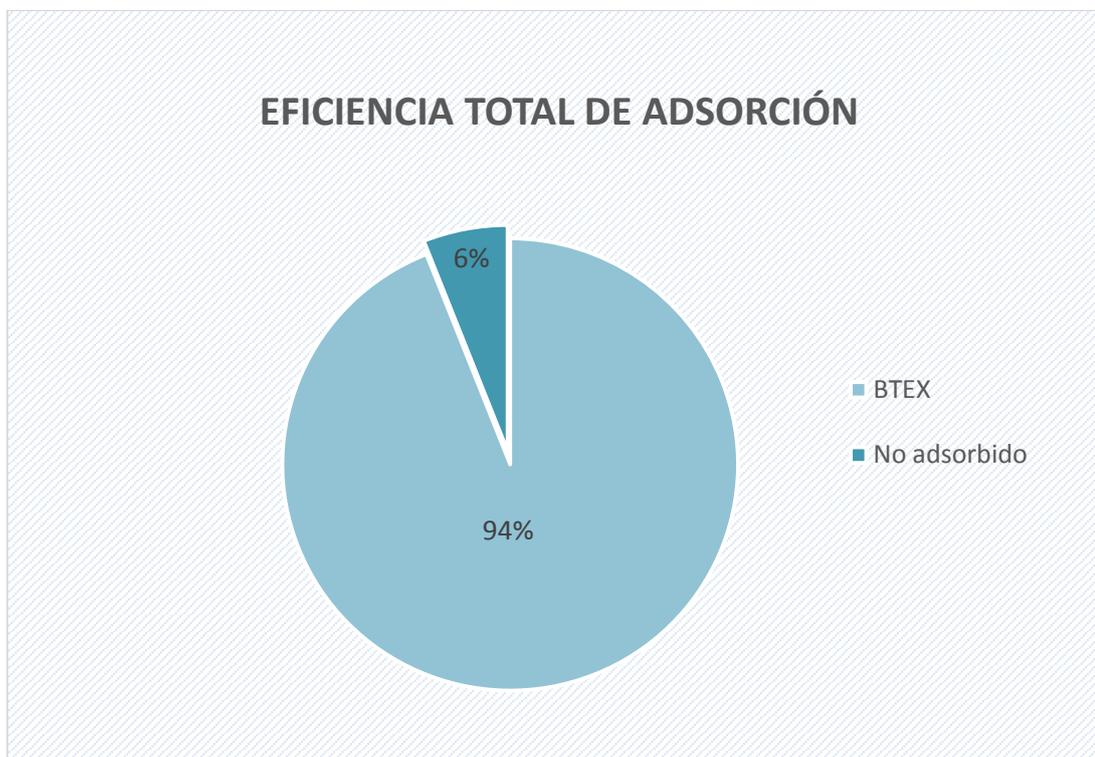


Figura 19-3: Eficiencia de adsorción total de BTEX
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSQUEZ A., ESPOCH, 2016.

CONCLUSIONES

Una vez realizado los cálculos de ingeniería tanto del tiempo de adsorción de BTEX y pérdida de carga en el dispositivo piloto para retención de los principales compuestos orgánicos volátiles en aire ambiente para el complejo industrial Shushufindi se da respuesta a los objetivos planteados llegando de esta manera a la conclusión del diseño y construcción del dispositivo. Para lo cual se realizó la caracterización de compuestos orgánicos volátiles BTEX, en base al ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS y del ACUERDO No. 050 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISION, mediante dicha información se procedió a la toma de muestras en el lugar donde labora el personal de Refinería, siendo estos tres puntos específicos donde existe mayor contaminación debido a los procesos que realizan, como son la Planta de Gases, Planta de Refinación y el área del campamento donde mayor frecuencia de personal existe. Teniendo como resultado parámetros que se encuentran dentro de la norma.

Se identificó las variables para el diseño del dispositivo de adsorción a base de carbón activado para compuestos orgánicos volátiles siendo estas temperatura, humedad y presión atmosférica que ayudaron a la determinación de Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xileno ya que a mayor temperatura no hay mayor adsorción del analito.

Se determinó los costos de construcción del dispositivo de retención de compuestos orgánicos volátiles a base carbón activado dándonos un total de 1900 dólares mientras que 130 dólares por muestra si se realiza en un laboratorio privado.

Finalmente se llegó a validar el funcionamiento del dispositivo piloto para retención de los principales compuestos orgánicos volátiles a base carbón activado en el complejo industrial Shushufindi mediante la toma de una muestra.

RECOMENDACIONES

- Para la toma de muestra dentro del Complejo Industrial Shushufindi se debe tomar en cuenta los parámetros de: temperatura, presión y humedad debido a su gran importancia para la adsorción del analito.
- Para mejores resultados se debe utilizar carbón activado grado reactivo, mineral, de tipo granular fino y ultra puro; debido a que el carbón ayudará a obtener resultados muy reales que dependerán únicamente de la manipulación al manejar el dispositivo y durante la preparación del filtro.
- Para el uso del filtro se debe esterilizar en auto clave, con la finalidad de eliminar todo tipo de contaminantes; para que no afecte en el análisis de resultados.
- Manejar la muestra con guantes y mascarilla durante el armado del filtro para evitar contaminación del adsorbente como es el carbón activado.
- El mantenimiento de la bomba y sus accesorios, debe ser libre de aceite y otros compuestos que contiene materia orgánica y contaminaría la muestra.
- La muestra se debe trasladar en un culer en refrigeración y analizarse en 14 días debido a que los BTEX tienden a volatilizarse.
- Se recomienda trabajar con flujo menor para favorecer una mayor adsorción del analito en el adsorbente.
- Calibrar la bomba para cada toma de muestra según el flujo que se requiera.
- El tiempo de adsorción de la muestra debe ser de 8 horas, ya que al pasar el tiempo empezara el proceso de desorción; es decir los COV's retenidos se volatizaran.

3.3 Proceso de producción

Tabla 33-3: Proceso de producción

Proceso	Detalle	Sección	Responsable
Pesado del carbón activado	150 mg en balanza analítica	Filtro	Eliana Orozco
Preparación del filtro	150 mg de carbón activado entre dos secciones de espuma de poliuretano dentro de un tubo de vidrio de 7 cm de longitud y 6 mm de diámetro	Filtro	Eliana Orozco
Calibración de la bomba	Método de burbuja	Bomba	Amanda Vásconez
Acoplamiento de los filtros en el equipo	Con uniones de goma	Filtros	Amanda Vásconez
Puesta en marcha del equipo	Energía eléctrica	Dispositivo adsorbente	Amanda Vásconez
Almacenar las muestras	En refrigeración	Filtros	Eliana Orozco
Análisis de muestras para determinación de BTEX	Cromatografía de gases	Filtros	Gruntec

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., 2016,

3.4 Requerimientos Tecnológicos de maquinaria

Para la implementación del dispositivo en el complejo Industrial Shushufindi se requiere de mínimas necesidades debido a que los análisis respectivos se realizaran en el Laboratorio de Seguridad, Salud y Ambiente LABSSA EPPETROECUADOR. Para lo cual se tomara en cuenta:

Tabla 34-3: Requerimientos tecnológicos de maquinaria

Actividad	Materiales	Equipos	Esquipo de seguridad	Infraestructura
Construcción del dispositivo para adsorción de Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno (BTEX).	Válvulas de Vidrio Manguera de Silicona Semidura Uniones de Goma Y de policarbonato	Suelda Bomba Termohidrómetro	Mascara para soldar Delantal de plomo para soldar Guantes para soldar	Taller Mecánico
Pesar de carbón activado	Espátula Papel Aluminio	Balanza Analítica	Guantes Mandil Mascarilla	Laboratorio
Armar el filtro	Tubo de vidrio Embudo Espuma de poliuretano	Autoclave	Guantes Mandil Mascarilla	Laboratorio
Construcción de Calibrador de burbuja	Probeta Tubo de ensayo Manguera de silicona Válvula de vidrio Tapón	Taladro	Guantes Gafas	Laboratorio Taller Mecánico
Toma de muestra	Extensión	Dispositivo para adsorción de Benceno , Tolueno , Etilbenceno y Xileno (BTEX)	Casco Guantes gruesos Tapones de oídos Arnés de seguridad Zapatos punta de acero Camisa y pantalón Jeans	Refinería
Almacenamiento de la muestra	Caja aislante de calor.	Refrigeradora	Guantes Mandil	Refinería Laboratorio
Análisis de la Muestra	Capsulas de desorción Estándares	Cromatógrafo de Gases	Guantes Mandil Mascarilla	Laboratorio

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., 2016.

3.5 Análisis de costo /beneficio del proyecto

Tabla 35-3: Costos de construcción del dispositivo para adsorción de BTEX

Material	Precio	Unidades	Total \$
Bomba	600	1	600
Tubos de vidrio	2,50	5	10
Carbón activado	90	1000 gramos	90
Espuma de poliuretano	10	1	10
Tubería	100	1	100
Válvulas	20	5	100
Armazón de acero inoxidable quirúrgico	400	1	400
termo hidrómetro	100	1	100
Cronometro	20	1	20
Probeta	10	1	10
Vaso de precipitación	10	1	10
Unidad de mantenimiento	80	1	80
Timer	20	1	20
Mano de obra	400	1	400
TOTAL			1950

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., 2016.

Al costo total que se aprecia en la tabla 20-3, se añade el costo por análisis que es de 130 dólares por muestra si se realiza en un laboratorio privado. Sin embargo si este se realiza en el mismo se deben apreciar los siguientes costos:

Tabla 36-3: Costo adicional para análisis de BTEX

Material	Costo \$
Estándares de BTEX	150
Capsulas de desorción de carbón activado	100
TOTAL	250

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., 2016.

Al evaluar los costos de los materiales y reactivos que son necesarios para el análisis de cromatografía de gases en el laboratorio EPPETROECUADOR se observa que tiene un precio elevado en comparación con el precio al realizar en un laboratorio externo , sin embargo los materiales anteriormente mencionados cubrirán a un gran número de muestras.

3.6 Cronograma de ejecución del proyecto

ACTIVIDAD	TIEMPO																											
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Identificación de variables para el diseño de un dispositivo de adsorción (BTEX).			■	■	■	■																						
Caracterización del aire y toma de muestras			■	■	■	■	■																					
Análisis de resultados							■	■	■																			
Realizar el diseño y construcción del dispositivo piloto a base de carbón activado para BTEX									■	■	■	■	■															
Validar el funcionamiento del dispositivo piloto													■	■	■	■												
Elaboración de borradores															■	■	■											
Corrección de borradores																	■	■										
Redacción del trabajo final													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Empastado y presentación del trabajo final																					■	■						
Auditoría académica																						■	■					
Defensa del trabajo																												■

BIBLIOGRAFÍA

- **WARREN L. MCCABE., JULIAN C. SMITH., PETER HARRIOTT.,** Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., 7^{ma}.ed., México., 2007. Pp.19-20., Pp. 174.
- **ROBERT H. PERRY., DON W. WREEN.,** Chemical Engineers Handbook., 7^{ma}.ed., Nort America., 1997., Sección 2 .Pp 57 -75., Sección 5., Pp 42., sección 16., tabla 16- 3.
- **MARCK;** Manual del Ingeniero Mecánico., sección 6. Pp 174-187., sección 8. Pp 156-180.
- **OCÓN. GARCÍA.,** Elementos de Ingeniería Química., Pp778
- **NTE INEN 2021.,** Plásticos. Espumas flexibles de Poliuretano para usos generales.
- **NORMATIVA SAE j1273** Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies
- **F. RODRÍGUEZ-REINOSO, M. MOLINA-SABIO AND M.A. MUÑECAS,** J. Phys. Chem, 96, 2707 (1992).
- **HAWLEY.** "Diccionario de Química y productos químicos" Ed. Omega, 2^a ed. pp. 194, 490, 880.
- International Committee for Characterization and Terminology of Carbon, Carbon, 20, 445 (1982).
- Ullmann´s Encyclopedia of Industrial Chemistry, A5, 124, VCH, Weinheim, Germany (1986).

- **LABORATORIO GRUNTEC.**, Resultados Btex en resina., Mayo 2015.
- **ACUERDO No. 091:** Límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas para actividades Hidrocarburíferas.
- **ACUERDO No. 050:** Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión
- **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE MANGUERAS DE SILICONA**
MASTERMANGIN.COM. Línea [www.gates.com.mx/pdf/ MASTERMANGIN_2012sm.pdf](http://www.gates.com.mx/pdf/MASTERMANGIN_2012sm.pdf)
2016/02/26
- **SELECCIÓN MATERIAL PARA FILTRO**
MILIARUN.COM., Línea., [http://www.miliarium.com/Prontuario/ Tablas / Quimica/ PropiedadesTermicas.asp](http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp)
2016/02/26
- **CARACTERISTICAS DEL CARBON ACTIVO A BASE DE CASCARA DE COCO**
NTE INEN 1991: Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial.
2016/02/26
- **TUBOS ADSORBENTES**
NTP 23: Guía de buenas prácticas., Toma de muestra de contaminantes mediante adsorbentes sólidos., 1982.
2016/02/26
- **TUBOS PARA ADSORCIÓN DE BTEX**
Normas ASTM de aplicación de tuberías y accesorios
2016/02/26

- **MANGUERAS PARA CONDUCCIÓN DE AIRE**

https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/9671.htm

2016/02/26

- **PROPIEDADES DEL ACERO INOXIDABLE**

<http://www.wesco.com.co/userfiles/propiedades%20300.pdf>

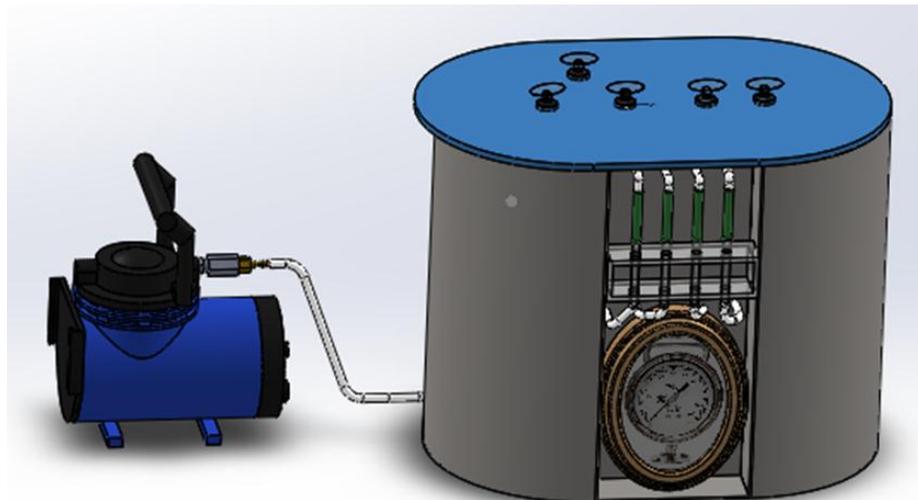
2016/02/26

- **DETERMINACIÓN DE LONGITUDES POR TRAMOS**

www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/ES/MS-01-180.pdf

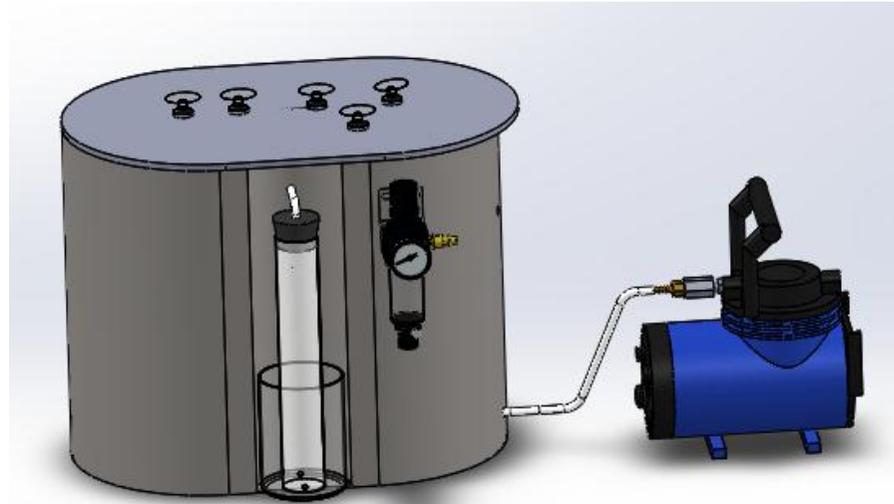
2016/02/26

ANEXO I



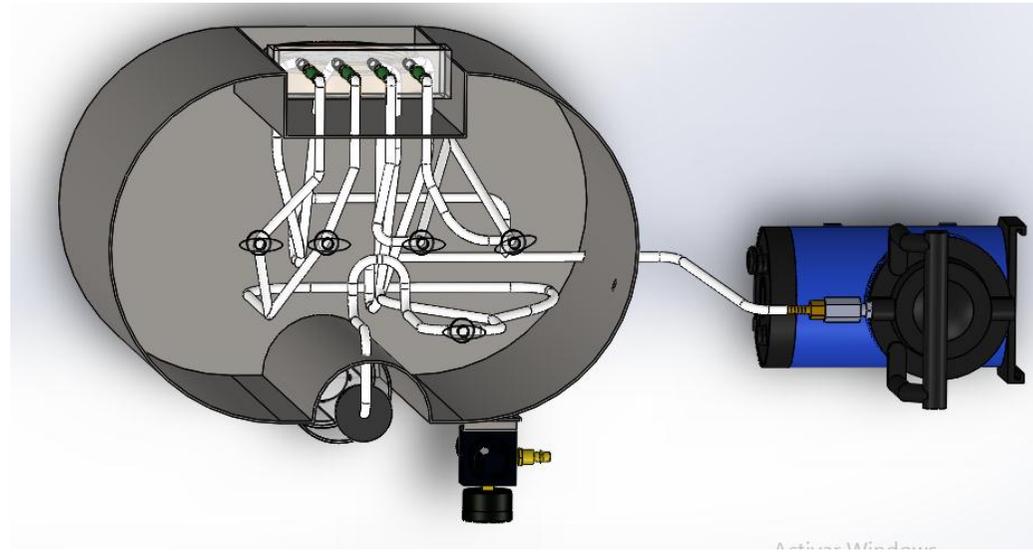
Notas	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PILOTO CON ADSORBENTE A BASE DE CARBÓN ACTIVADO PARA RETENCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES BENCENO, TOLUENO ETILBENCENO Y XILENO (BTEX) EN AIRE AMBIENTE PARA EL COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSHUFINDI							
- Vista frontal			<input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por verificar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Para información	Orozco Valencia Eliana Paquita	Vásconez Peñafiel Amanda Elizabeth	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Lám.:</td> <td style="width: 33%;">Esc.:</td> <td style="width: 33%;">Fecha:</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">A4</td> <td style="text-align: center;">2016-04-18</td> </tr> </table>	Lám.:	Esc.:	Fecha:	1
Lám.:	Esc.:	Fecha:								
1	A4	2016-04-18								

ANEXO II



Notas	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PILOTO CON ADSORBENTE A BASE DE CARBÓN ACTIVADO PARA RETENCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES BENCENO, TOLUENO ETILBENCENO Y XILENO (BTEX) EN AIRE AMBIENTE PARA EL COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSHUFINDI		
- Vista posterior	<input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por verificar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Para información	Orozco Valencia Eliana Paquita Vásconez Peñafiel Amanda Elizabeth	Lám.:	Esc.:	Fecha:
			2	A4	2016-04-18

ANEXO III



Notas	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PILOTO CON ADSORBENTE A BASE DE CARBÓN ACTIVADO PARA RETENCION DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES BENCENO, TOLUENO ETILBENCENO Y XILENO (BTEX) EN AIRE AMBIENTE PARA EL COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSHUFINDI		
- Vista interna	<input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por verificar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Para información	Orozco Valencia Eliana Paquita Vásconez Peñafiel Amanda Elizabeth	Lám.:	Esc.:	Fecha:
			3	A4	2016-04-18

ANEXO IV

RESULTADOS DE ANÁLISIS CARBÓN ACTIVADO PLANTA DE GASES



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: EP Petroecuador
Alpallana E8-86 y Av. 6 de Diciembre
Telf: 2563-060

Atn: Dr. Luis Villacreses

Proyecto: Análisis de Carbón Activado

Muestra Recibida: 21-dic-15

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Carbón Activado

Análisis Completado: 29-dic-15

Número reporte Grüntec: 1512355-RES004

Rotulación Muestra:	PG-0001	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	n.d	
No. Reporte Grüntec:	1512355-RES004	

Compuestos Orgánicos Volátiles:		
Benceno µg *	<0.2	EPA 8260 C
Etilbenceno µg *	0.4	EPA 8260 C
Tolueno µg *	2.7	EPA 8260 C
Xilenos µg *	1.1	EPA 8260 C

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

n.d - No Determinado

INCERTIDUMBRE (U):

BTEX en resinas = 0,26

Cálculo: $C \pm U \times C$ en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

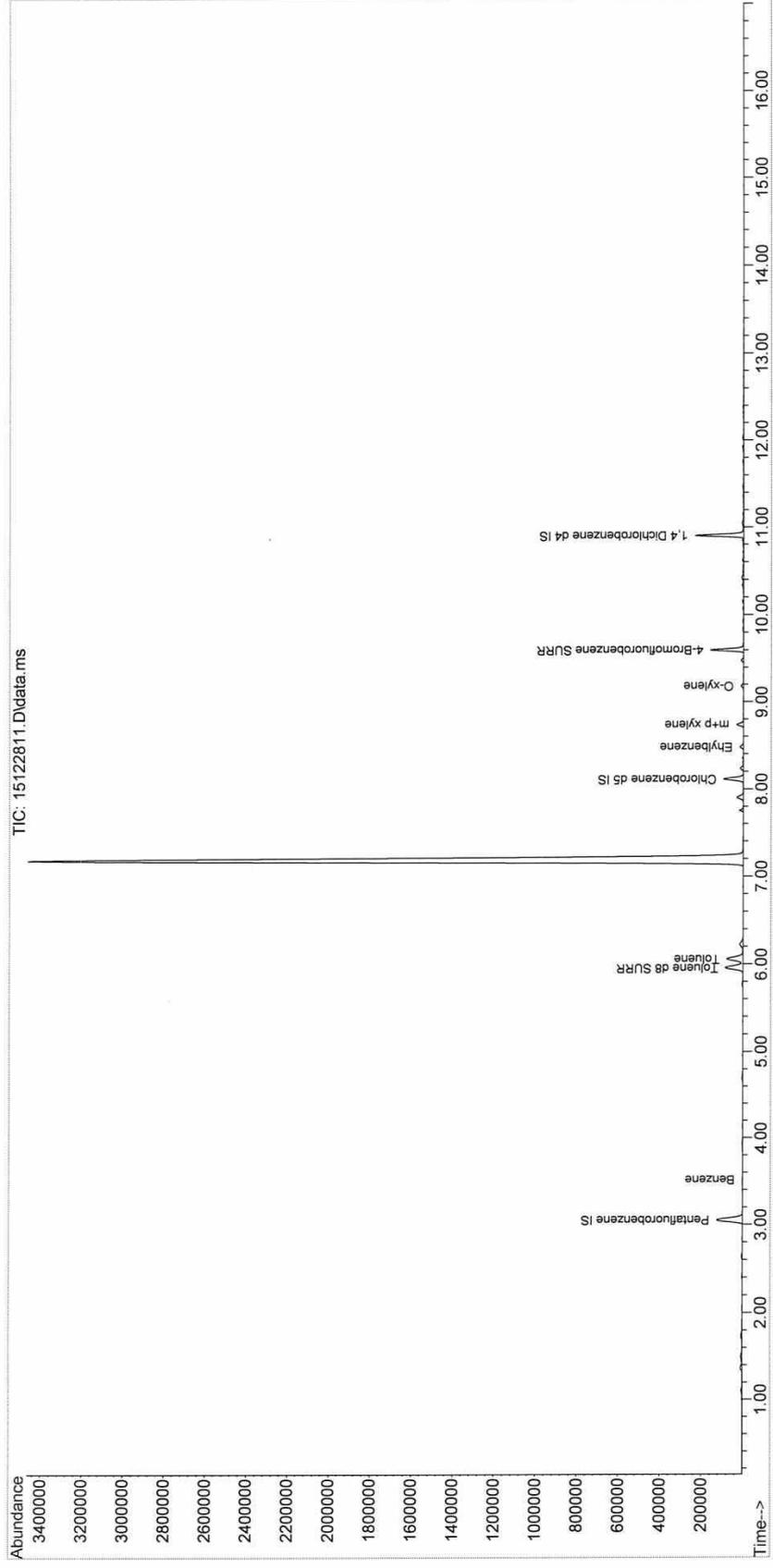
Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

File : C:\MSDCHEM\1\DATA\151228\15122811.D
Operator :
Acquired : 29 Dec 2015 12:51 using AcqMethod 151127SIMVOCS.M
Instrument : CROG05
Sample Name: 1 PTC-1512355-RES04
Misc Info : Mth=VOCs;Vol=1000.000;Tray=Tray1;Inj=;Vol2....
Vial Number: 10



Mediante los resultados obtenidos referidos en el ANEXO IV, en carbón activado para adsorción de compuestos orgánicos volátiles en aire ambiente en la Planta de Gases del complejo industrial Shushufindi se observa que los resultados adquiridos en el Cromatógrafo de gases se encuentran dentro de los parámetros establecidos de la Norma, lo que se puede evidenciar en la Tabla 30-3 las cuales están acorde al ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS y del ACUERDO No. 050 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISION; los mismos que se puede interpretar en cada pico de la gráfica la cual representa la cantidad de analito presente en la muestra, teniendo la cantidad de benceno de < 0.2 , etilbenceno 0.4, tolueno 2.7 y xileno 1.1 microgramos en aire ambiente.

ANEXO V

RESULTADOS DE ANÁLISIS CARBÓN ACTIVADO REFINERIA



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: EP Petroecuador
Alpallana E8-86 y Av. 6 de Diciembre
Telf: 2563-060

Atn: Dr. Luis Villacreces

Proyecto: Análisis de Carbón Activado

Muestra Recibida: 21-dic-15

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Carbón Activado

Análisis Completado: 29-dic-15

Número reporte Gruentec: 1512355-RES003

Rotulación Muestra:	PR-0002	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	n.d	
No. Reporte Grüntec:	1512355-RES003	

Compuestos Orgánicos Volátiles:		
Benceno µg *	<0.2	EPA 8260 C
Etilbenceno µg *	1.4	EPA 8260 C
Tolueno µg *	1.6	EPA 8260 C
Xilenos µg *	4.6	EPA 8260 C

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

n.d - No Determinado

INCERTIDUMBRE (U):

BTEX en resinas = 0.26

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

Ing. Isabel Estrella

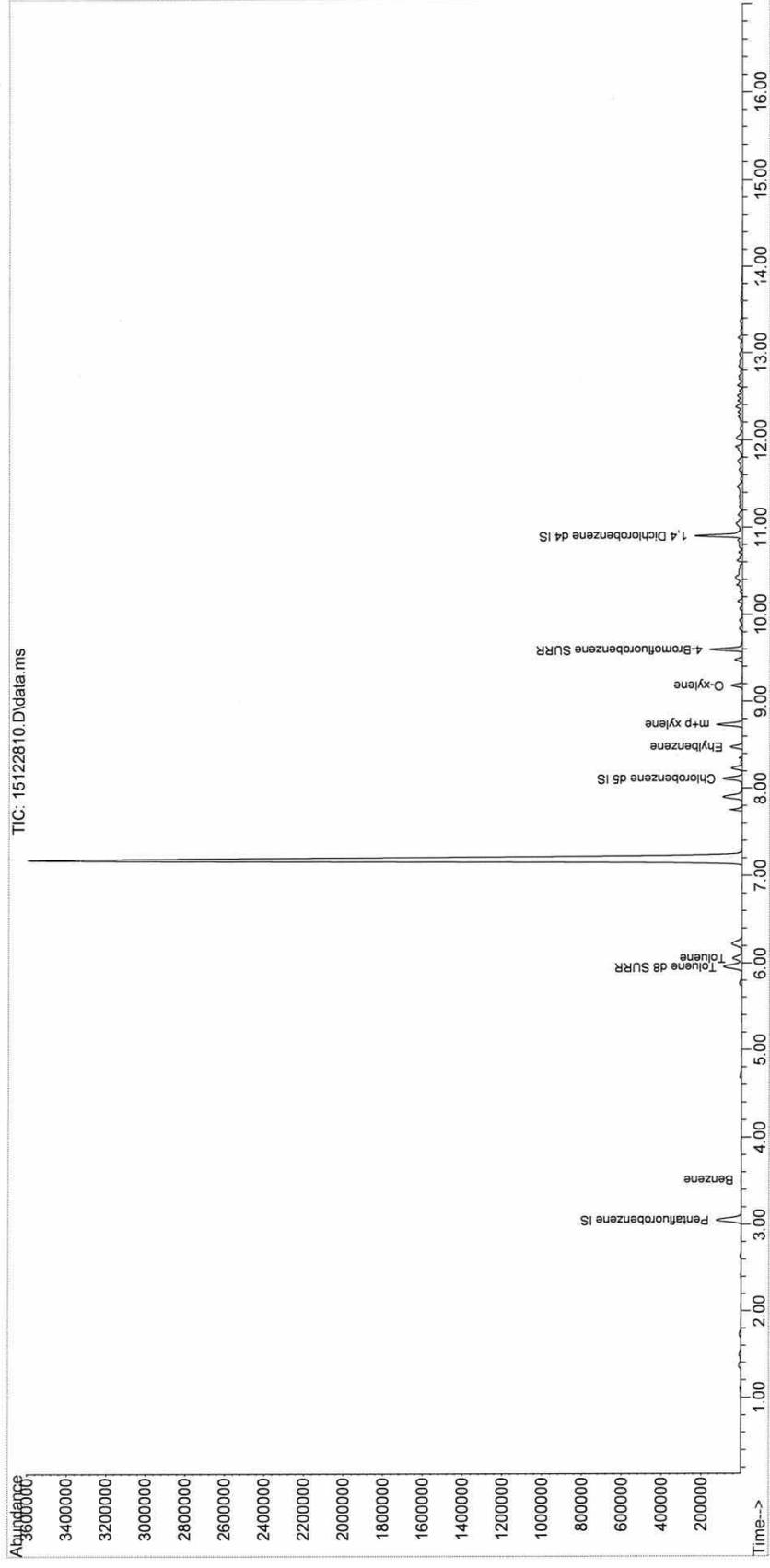
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

File : C:\MSDCHEM\1\DATA\151228\15122810.D
Operator :
Acquired : 29 Dec 2015 12:23 using AcqMethod 151127SIMVOCS.M
Instrument : CROG05
Sample Name: 1 PTC-1512355-RES03
Misc Info : Mth=VOCs;Vol=1000.000;Tray=Tray1;Inj=;Vol2...
Vial Number: 9



Mediante los resultados obtenidos referidos en el ANEXO V, en carbón activado para adsorción de compuestos orgánicos volátiles en aire ambiente en la Refinería del complejo industrial Shushufindi se observa que los resultados adquiridos en el Cromatógrafo de gases se encuentran dentro de los parámetros establecidos de la Norma, lo que se puede evidenciar en la Tabla 30-3 las cuales están acorde al ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS y del ACUERDO No. 050 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISION; los mismos que se puede interpretar en cada pico de la gráfica la cual representa la cantidad de analito presente en la muestra, teniendo la cantidad de benceno < 0.2 , etilbenceno 1.4 , tolueno 1.6 y xileno 4 microgramos en aire ambiente.

ANEXO VI

RESULTADOS DE ANÁLISIS CARBÓN ACTIVADO CAMPAMENTO



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: EP Petroecuador
Alpallana E8-86 y Av. 6 de Diciembre
Telf: 2563-060

Atn: Dr. Luis Villacreces

Proyecto: Análisis de Carbón Activado

Muestra Recibida: 21-dic-15

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Carbón Activado

Análisis Completado: 29-dic-15

Número reporte Grüntec: 1512355-RES002

Rotulación Muestra:	PC-0003	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	n.d	
No. Reporte Grüntec:	1512355-RES002	

Compuestos Orgánicos Volátiles:		
Benceno µg	<0.2	EPA 8260 C
Etilbenceno µg	<0.2	EPA 8260 C
Tolueno µg	2.0	EPA 8260 C
Xilenos µg	<0.2	EPA 8260 C

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

n.d - No Determinado

INCERTIDUMBRE (U):

BTEX en resinas = 0.26

Cálculo: $C \pm UxC$ en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

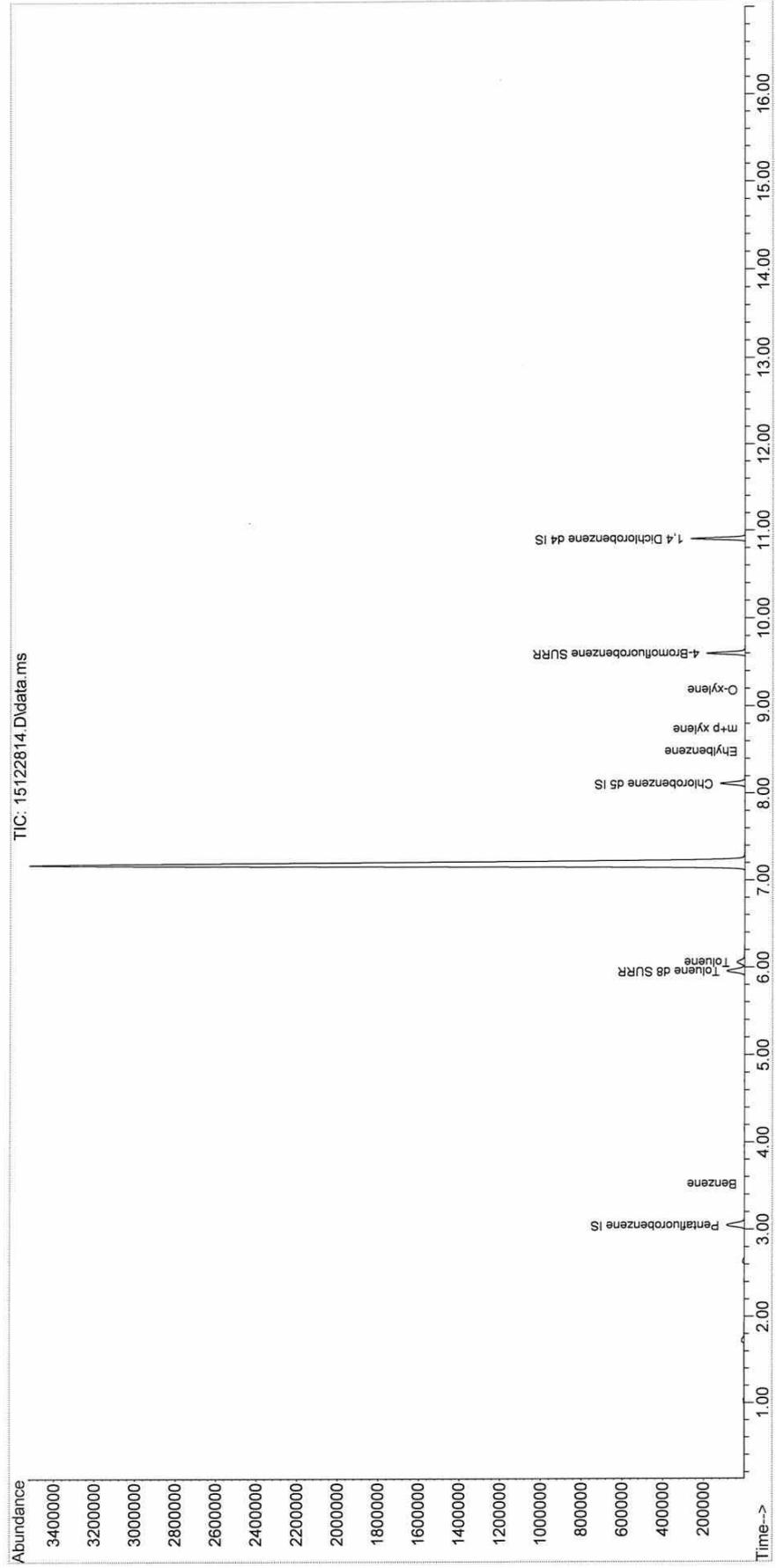
Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

File : C:\MSDCHEM\1\DATA\151228\15122814.D
Operator :
Acquired : 29 Dec 2015 14:13 using AcqMethod 151127SIMVOCS.M
Instrument : CROG05
Sample Name: 1 PTC-1512355-RES02
Misc Info : Mth=VOCs;Vol=1000.00;Tray=Tray1;Inj=;Vol2=...
Vial Number: 26



Mediante los resultados obtenidos referidos en el ANEXO VI en carbón activado para adsorción de compuestos orgánicos volátiles en aire ambiente en el Campamento del complejo industrial Shushufindi se observa que los resultados adquiridos en el Cromatógrafo de gases se encuentran dentro de los parámetros establecidos de la Norma, lo que se puede evidenciar en la Tabla 30-3 las cuales están acorde al ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS y del ACUERDO No. 050 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISION; los mismos que se puede interpretar en cada pico de la gráfica la cual representa la cantidad de analito presente en la muestra, teniendo la cantidad de benceno de < 0.2 , etilbenceno < 0.2 , tolueno 2.0 y xileno < 0.2 microgramos en aire ambiente.

ANEXO VIII

RESULTADOS DE ANÁLISIS RESINA PLANTA DE REFINACIÓN



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: EP Petroecuador
Alpallana E8-86 y Av. 6 de Diciembre
Tel: 2503-000

Atn: Ing. Katherine Guerra

Proyecto: Análisis de Resinas

Muestra Recibida: 10-jun-15

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Resina

Análisis Completado: 18-jun-15

Número reporte Gruntec: 1506135-RES003

Rotulación Muestra:	C2H001	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	26-may-16	
No. Reporte Gruntec:	1506135-RES003	

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos:		
Benzo(a)antraceno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D
Benzo(a)pireno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D
Benzo(b)fluoranteno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D
Benzo(g,h,i)perileno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg ^(1,2)	0.46	EPA 8270 D
Criseno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D
Dibenzo(a,h)antraceno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D
Fenantreno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D
Fluoranteno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D
Indeno(1,2,3-c-d)pireno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D
Pireno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D

BTEX: a)		
Benceno µg ^(1,2)	0.2	EPA 8260 C
Etilbenceno µg ^(1,2)	1.2	EPA 8260 C
Tolueno µg ^(1,2)	2.1	EPA 8260 C
Xileno µg ^(1,2)	4.5	EPA 8260 C

Registros y acreditaciones:

(1) Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

(2) Acreditación CALA No. A3154

(3) Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

INCERTIDUMBRE (U):

HAP's = 0.10, BTEX = 0.29

Cálculo: $C \pm U \times C$ en donde: C=valor medido; U= Incertidumbre.

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del OAE.

* El análisis de BTEX ha sido expresado como la masa en microgramos contenidos en la masa total de resina que constituye cada muestra.

Ing. Isabel Estrella
Ing. Isabel Estrella

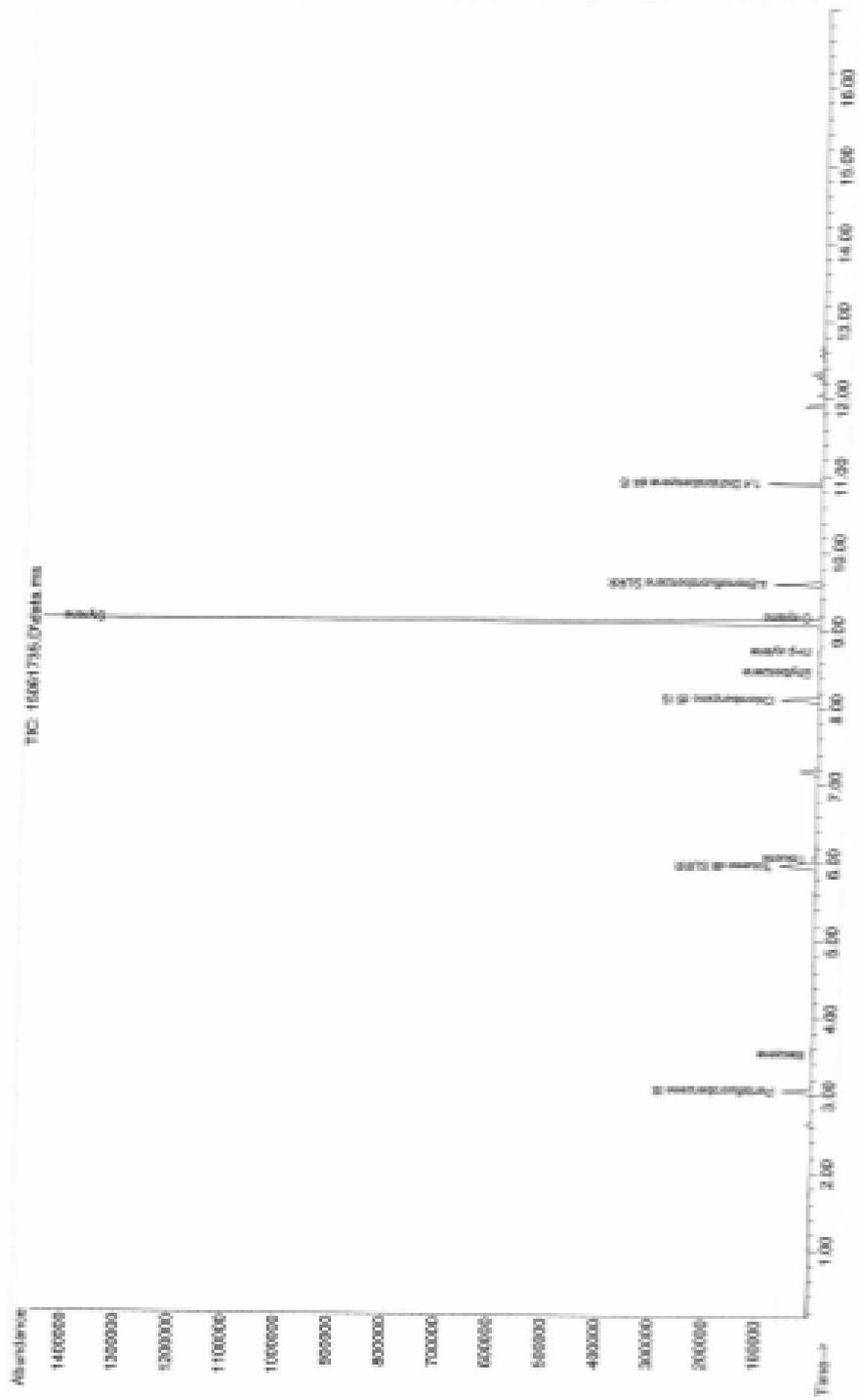
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material o información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

File : C:\msdchem\1\DATA\150617\15061715.D
 Operator :
 Acquired : 19 Jun 2015 15:44 using AcqMethod 15061715.M
 Instrument : CR0005
 Sample Name : 1.PTC-1506135-03
 Misc Info : Mth=0006;Vol=1000.000;Tray=Trays;Inj=;Vol3...
 Vial Number: 3



ANEXO IX

RESULTADOS DE ANÁLISIS EN RESINA PLANTA DE GAS



REPORTE DE ANÁLISIS

Ciente: EP Petroecuador
Alpallana EA-85 y Av. 6 de Diciembre
Tel: 2563 040

Atn: Ing. Katherine Guerra

Proyecto: Análisis de Resinas

Muestra Recibida: 10-jun-15

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Resina

Análisis Completado: 22-jun-15

Número reporte Grüntec: 1506135-RES003

Informe revisado

Rotulación Muestra:	C2H001	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	26-may-15	
No. Reporte Grüntec:	1506135-RES003	

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos:		
Benzo(a)antraceno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D
Benzo(a)pireno mg/kg ^(1,2)	<0.25	EPA 8270 D
Benzo(b)fluoranteno mg/kg ^(1,3)	<0.25	EPA 8270 D
Benzo(g,h)perileno mg/kg ^(1,3)	<0.25	EPA 8270 D
Benzo(k)fluoranteno mg/kg ^(1,3)	£ 46	EPA 8270 D
Criseno mg/kg ^(1,3)	<0.25	EPA 8270 D
Dibenzo(a,h)antraceno mg/kg ^(1,3)	<0.25	EPA 8270 D
Fenantreno mg/kg ^(1,3)	<0.25	EPA 8270 D
Fluoranteno mg/kg ^(1,3)	<0.25	EPA 8270 D
Indeno(1,2,3-c-d)pireno mg/kg ^(1,3)	<0.25	EPA 8270 D
Pireno mg/kg ^(1,3)	<0.25	EPA 8270 D

BTEX: a)		
Benceno µg ^(1,3)	<0.2	EPA 8260 C
Etilbenceno µg ^(1,3)	0.4	EPA 8260 C
Tolueno µg ^(1,3)	2.1	EPA 8260 C
Xilenos µg ^(1,3)	1.2	EPA 8260 C

Registros y acreditaciones:

(1) Acreditación No. OAE LE 20 05-008

(2) Acreditación CALA No. A3154

(3) Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

⁽³⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

INCERTIDUMBRE (U):

HAP's = 0.30, BTEX = 0.39

Cálculo: $C \pm U \times C$ en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del GAE.

* El análisis de BTEX ha sido expresado como la masa en microgramos contenidas en la masa total de

resina que constituye cada muestra.

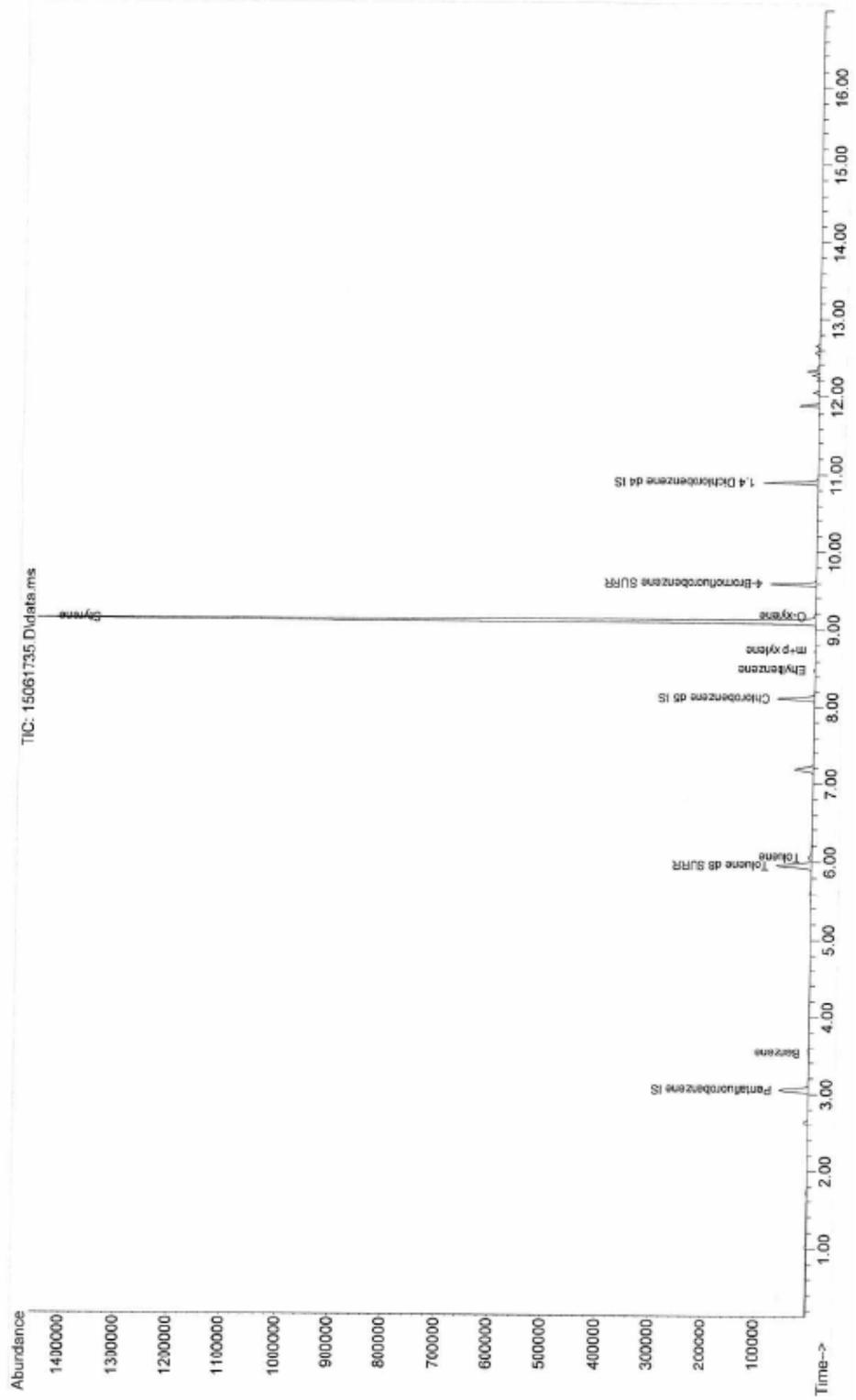
X
Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1. Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2. La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

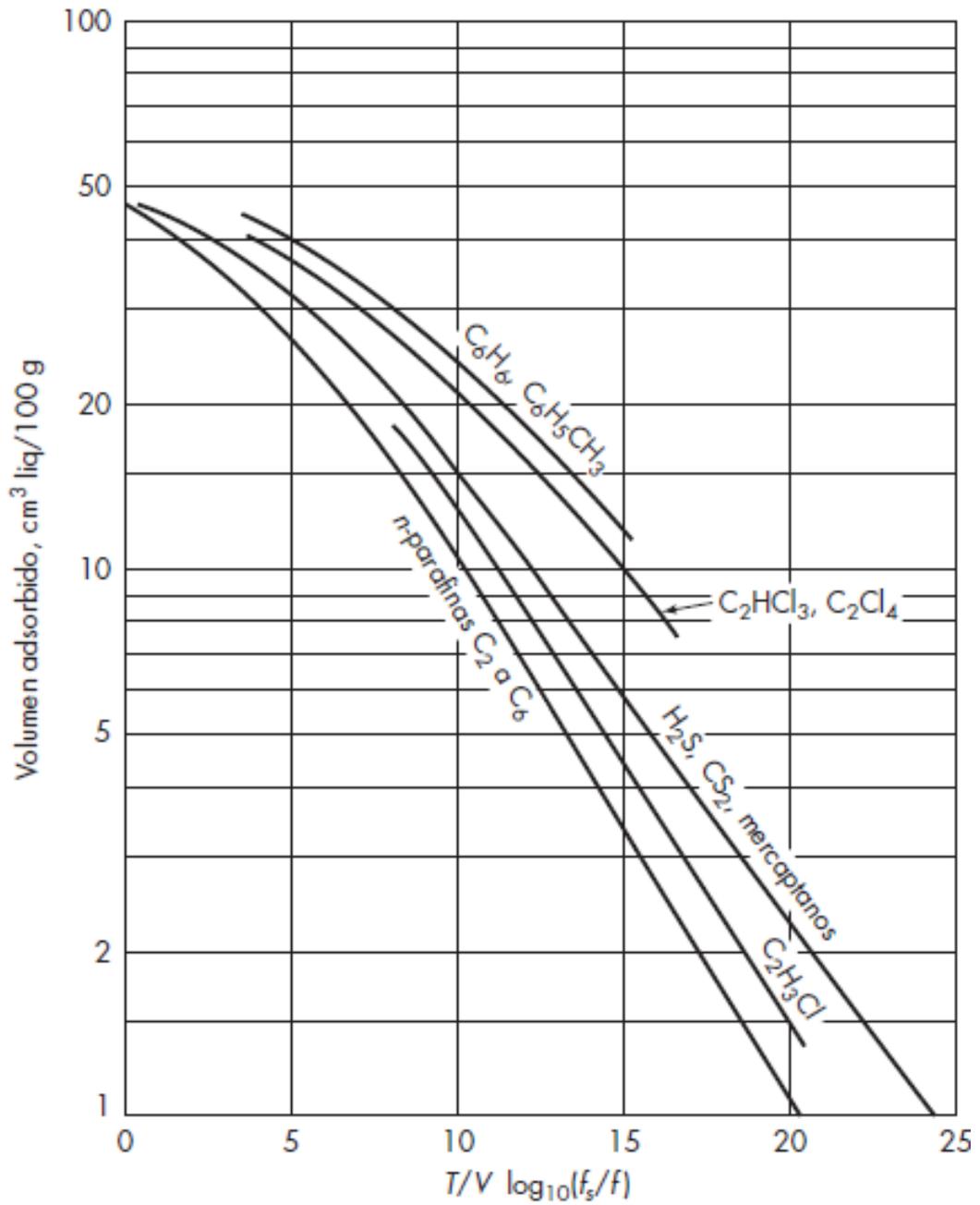
Nota 3. El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

File : C:\msdchem\1\DATA\150617\15061735.D
Operator :
Acquired : 19 Jun 2015 15:44 using AcqMethod 150327SIMVOCS.M
Instrument : CROG05
Sample Name : 1 PTC-1506135-S3
Misc Info : Mth=VOCs;Vol=1000.000;Tray=Tray1;Inj=;Vol2...
Vial Number: 1



ANEXO X

FIGURA 25.4 OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA



ANEXO XI

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento del dispositivo piloto a base de carbón activado para adsorción de los principales compuestos orgánicos volátiles BTEX en aire ambiente, será de manera automática ya que consta de un timer que tiene la función de detener la adsorción cuando haya alcanzado el tiempo máximo de saturación del carbón activado. Para lo cual es necesario lo siguiente:

Materiales

- Tubo de vidrio de 7cm, diámetro de 0,5mm
- 150mg de carbón activado.
- Tapones
- Espuma de poliuretano

Equipo

- Dispositivo piloto para adsorción de compuestos orgánicos volátiles BTEX en aire ambiente que consta de bomba de succión, termohidrómetro y un barómetro.

Procedimiento

- Ubicación del equipo en zonas definidas del Complejo Industrial: planta de gases, refinería y campamento.
- Insertar el carbón activado dentro del filtro en una sola sección retenido con espuma de poliuretano.
- Colocar el filtro en el dispositivo
- Poner en marcha el dispositivo encendiendo la bomba.
- Controlando la velocidad del flujo durante un tiempo definido, humedad, temperatura y presión al iniciar y finalizar el proceso de toma de muestra.
- Retirar el filtro y tapar por los dos lados con tapones herméticos, siendo estos transportados en una caja de material aislante al calor.
- Para un nuevo muestreo se debe esterilizar los tubos en una autoclave.

- El tratamiento de la muestra consiste en evaporar el carbón en tubos especiales los a cuales desprenden compuestos gaseosos del carbón siendo extraídos con una jeringuilla especial e inyectados en el cromatografía de gases el límite de detección es de (50 a 100pptv) el tiempo de retención es de 15 minutos a dos horas.

ANEXO XII

MANUAL DE MANTENIMIENTO

El dispositivo piloto para adsorción de BTEX fue construido con acero quirúrgico con la finalidad de evitar corrosión, contaminación y ablandamiento del sistema de tuberías, está constituido por una bomba de vacío que necesita tanto mantenimiento como limpieza y mayor atención; siendo de fácil manipulación y transporte por su pequeña estructura lo que hace que su mantenimiento sea mínimo para lo cual es necesario:

Procedimiento

Recipiente de vidrio

- Lavar con detergente de laboratorio sin fosfatos
- Enjuagar 3 veces con agua destilada
- Enjuagar 3 veces con agua libre de compuestos orgánicos
- Enjuagar con metanol (opcional)
- Secar en estufa durante 1 hora

Bomba de vacío

- Antes de cada uso inspeccione la tubería de succión y la botella de recolección para verificar que no tenga fugas, grietas, etc.
- Asegúrese que la toma de la pared tiene la corriente sugerida para evitar sobre carga.
- Realizar inspecciones periódicas cada bimestre o por lo menos anualmente, según la clase y el uso de servicio. Mientras la bomba tenga un uso periódico el servicio será más frecuente.
- Revisión completa que debe incluir un chequeo de las partes que giran y las estacionarias así como las partes que se encuentran expuestas a los daños causados por la corrosión.
- Para el cambio de fusibles utilice sólo el mismo tipo de fusible para reemplazar un fusible roto. Especificaciones del fusible: Fusible miniatura de vidrio 5x20mm, Fusible de acción rápida, F2A/250V.

ANEXO XIII

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA UN DISPOSITIVO PILOTO A BASE DE CARBÓN ACTIVADO PARA BENCENO, TOLUENO, ETILBENCENO Y XILENO (BTEX) EN AIRE AMBIENTE PARA EL COMPLEJO INDUSTRIA SHUSHUFINDI

<p>FACTIBILIDAD OPERACIONAL</p>	<p>El dispositivo piloto para adsorción de Benceno , Tolueno , Etilbenceno y Xileno (BTEX):</p> <p>Es un diseño que no implica gran dificultad en su uso.</p> <p>El sistema no requiere de mucha manipulación al momento del muestreo es decir trabajara el tiempo que este configurado en el timer y solo requiere cuidado al momento de almacenar la muestra para el análisis correspondiente.</p> <p>El complejo industrial Shushufindi no cuenta con un sistema de muestreo a base de carbón activado en aire ambiente, para sus mediciones de COV´s utilizan fundas tedlar las cuales tiene un elevado precio y son difíciles de obtener debido a que no se encuentran dentro del mercado ecuatoriano por tal razón se implementara el dispositivo piloto para adsorción de Benceno , Tolueno , Etilbenceno y Xileno para minimizar costos, gracias a dicha implementación se precautela la salud no solo de los trabajadores sino también de la población aledaña por lo cual el método no sería obsoleto.</p>			
<p>FACTIBILIDAD TÉCNICA</p>	<p>El dispositivo fue validado dentro del complejo industrial Shushufindi siendo muy factible en cuanto a la obtención de resultados, además para verificar su funcionamiento se realizó un nuevo muestreo mediante un sistema controlado con una concentración conocida verificando así su operación.</p> <p>El dispositivo estará a cargo del personal que labora en el laboratorio de Salud Seguridad y Ambiente LABSSA perteneciente a EPPETROECUADOR, siendo aptos para el manejo de este tipo de muestreo.</p> <p>El dispositivo para adsorción de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX) será usado de manera trimestral o para muestreos específicos el cual funciona con energía eléctrica.</p>			
<p>FACTIBILIDAD ECONÓMICA</p>	<p>El dispositivo piloto para adsorción de Benceno , Tolueno , Etilbenceno y Xileno (BTEX)</p>		<p>Recolección por fundas tedlar</p>	
	<p>Costo del equipo</p>	<p>\$ 1950</p>	<p>Costo del equipo</p>	<p>\$ 1000</p>
	<p>Costo de materiales</p>	<p>\$ 1,50</p>	<p>Costo de materiales</p>	<p>\$ 50</p>
	<p>Costo de análisis</p>	<p>\$ 130</p>	<p>Costo de análisis</p>	<p>\$ 130</p>
	<p>Al analizar los costos de los dos sistemas, se observa que en el diseño y construcción del dispositivo piloto a base de carbón activado tiene un costo mayor en cuanto a su construcción, los costos de materiales son mucho menores por lo que el costo por fallas va a reducirse, también podemos considerar que dentro del laboratorio existe los equipos adecuados para el análisis del carbón activado lo que reducirá costos.</p>			

	<p>En desventaja de las fundas tedlar es que su muestreo va a ser puntual y dependerá de la contaminación solo del momento. Requiere además mucho cuidado al momento de la toma de muestra y lavados con aire puro y nitrógeno el cual debe ser analizado en 3 días máximo mientras que con el dispositivo a base de carbón activado soporta hasta 15 días en refrigeración para su análisis. El carbón activado y el tubo pueden ser recuperados.</p>
--	--

ANEXO XIV

HOJA DE CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRA

	EMPRESA PÚBLICA DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR EP PETROECUADOR	VSA 00.0070-01				
ANÁLISIS DE RIESGO TAREA (A.R.T.)						
1.1 DATOS DE EJECUCIÓN	A.R.T. Nº 0001674	N° Orden de Trabajo 				
FECHA DE ELABORACIÓN: 17/12/2015	EJECUTOR: <input type="checkbox"/> EP PETROECUADOR <input type="checkbox"/> CONTRATISTA	NOMBRE DE LA CONTRATISTA: <u>ESPOCH</u>				
OTRO OPERATIVO: <u>Planta de Gas</u>	TRABAJO A REALIZAR: <u>Medición de BTEX</u>	AREA/PLANTA: <u>Planta de Gas</u> EQUIPO: <u>Panel de Planta de Gas</u>				
1.2 ANÁLISIS DEL TRABAJO A REALIZAR						
No.	I.- DESCRIPCIÓN DE TAREA	II.- IDENTIFICAR EL PELIGRO	III.- IDENTIFICAR EL RIESGO	IV.- MEDIDAS DE CONTROL		
1	Medición de BTEX	Manejo de equipo	Sobrepresión en punto de control	Guantes, Gafas		
2			Riesgo Eléctrico	Guantes, (EPP)		
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
1.3 Equipos de seguridad y Elementos de Protección Personal Requeridos						
a) Elementos Protección Personal			b) Equipos de seguridad			
<input checked="" type="checkbox"/> Casaca	<input checked="" type="checkbox"/> Protección auditiva	<input type="checkbox"/> Protección Facial	<input type="checkbox"/> Señalización de seguridad			
<input checked="" type="checkbox"/> Guantes	<input checked="" type="checkbox"/> Casaca de seguridad	<input type="checkbox"/> Protección respiratoria	<input type="checkbox"/> Equipo de control de incendios			
<input type="checkbox"/> Zapatos	<input checked="" type="checkbox"/> Hoja de trabajo	<input type="checkbox"/> Otros	<input type="checkbox"/> Resaca y almacenamiento de equipos			
¿Se requiere de permiso de trabajo? <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO						
1.4 FIRMAS DE AUTORIZACIÓN			Responsable de Seguridad y Ambiente que participó en la identificación de riesgos y matriz.			
EJECUTANTE		APROBADOR				
NOMBRE	FIRMA	NOMBRE	FIRMA			
<u>Amanda Vasquez</u>		<u>Alfredo Manchaca</u>				
Con la firma confirmo que he revisado todos los aspectos descritos en los formularios adjuntos y que las condiciones adecuadas para realizar el trabajo.						
2. TRABAJADORES INVOLUCRADOS EN LA EJECUCIÓN DEL TRABAJO						
	NOMBRE	CEDULA	FIRMA	NOMBRE	CEDULA	FIRMA
1	<u>Amanda Vasquez</u>	<u>02592222-0</u>				
2	<u>Eliona Ochoa</u>	<u>06032656749</u>				
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
INSTRUCCIONES GENERALES:						
En un ART cada paso del trabajo se describe para identificar riesgos potenciales y determinar la forma más segura de realizar el trabajo.			1. Para toda actividad realizada que se describa en el ART, se deberá colocar un ART una sola vez, y se requerirá su actualización cuando se haya modificado las condiciones del entorno de trabajo, equipos e instalaciones que intervengan en el trabajo especificado.			
1. El ART es un requisito para el inicio de cualquier trabajo dentro de las instalaciones operativas de la EP PETROECUADOR.			2. Para trabajos de Contratos, el Administrador/Personal del proyecto cumplirá las funciones de Aprobador.			
2. El ART analizará los peligros y riesgos de las tareas de un trabajo específico.			3. Un permiso de trabajo se requiere para toda actividad que se haya identificado como de alto riesgo.			
Revisado por: <input type="checkbox"/> Inicialmente / <input type="checkbox"/> Revisado / <input type="checkbox"/> P. Datos / <input type="checkbox"/> Revisado / <input type="checkbox"/> P. Datos / <input type="checkbox"/> Revisado / <input type="checkbox"/> P. Datos / <input type="checkbox"/> Revisado / <input type="checkbox"/> P. Datos						

HOJA DE CONTROL PARA LA TOMA DE MUESTRA



EMPRESA PÚBLICA DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR
EP PETROECUADOR

ANÁLISIS DE RIESGO TAREA (A.R.T.)

SSA-ME-F0-01

1.1 DATOS DE EJECUCIÓN A.R.T. **Nº 0001640** N° Orden de Trabajo:

FECHA DE ELABORACIÓN: 29-11-2015 EJECUTOR: EP PETROECUADOR CONTRATISTA NOMBRE DE LA CONTRATISTA: _____

SITIO OPERATIVO: REFINERÍA SHUSHUFINOÍ AREA/PLANTA: PLANTA DE GAS

TRABAJO A REALIZAR: MEDICIÓN BASES CHIMENEAS EQUIPO: EH1401/02/03/GE2903
H7-410/8C-1101

1.2 ANÁLISIS DEL TRABAJO A REALIZAR

Nº	I.- DESCRIPCIÓN DE TAREA	E.- IDENTIFICAR EL PELIGRO	R.- IDENTIFICAR EL RIESGO	VI.- MEDIDAS DE CONTROL
1	MEDICIÓN BASES	ALTURA	GOLPES-CAÍDA	ARNES LINEAVIA
2		TEMPERATURA	QUEMADURAS	E.P.C.
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				

1.3 Equipos de seguridad y Elementos de Protección Personal Requeridos

<p>i) Elementos Protección Personal:</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Casco</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Detector de gases</td> <td><input type="checkbox"/> Protección facial</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Guantes</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Calzado de seguridad</td> <td><input type="checkbox"/> Protección respiratoria</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Oídos</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Ropa de trabajo</td> <td><input type="checkbox"/> Otro: _____</td> </tr> </table>	<input checked="" type="checkbox"/> Casco	<input checked="" type="checkbox"/> Detector de gases	<input type="checkbox"/> Protección facial	<input checked="" type="checkbox"/> Guantes	<input checked="" type="checkbox"/> Calzado de seguridad	<input type="checkbox"/> Protección respiratoria	<input checked="" type="checkbox"/> Oídos	<input checked="" type="checkbox"/> Ropa de trabajo	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<p>ii) Equipos de seguridad:</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Definición de riesgos</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Equipos de control de riesgos</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Retiro y aislamiento de equipos</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Definición de riesgos	<input type="checkbox"/> Equipos de control de riesgos	<input type="checkbox"/> Retiro y aislamiento de equipos
<input checked="" type="checkbox"/> Casco	<input checked="" type="checkbox"/> Detector de gases	<input type="checkbox"/> Protección facial											
<input checked="" type="checkbox"/> Guantes	<input checked="" type="checkbox"/> Calzado de seguridad	<input type="checkbox"/> Protección respiratoria											
<input checked="" type="checkbox"/> Oídos	<input checked="" type="checkbox"/> Ropa de trabajo	<input type="checkbox"/> Otro: _____											
<input type="checkbox"/> Definición de riesgos													
<input type="checkbox"/> Equipos de control de riesgos													
<input type="checkbox"/> Retiro y aislamiento de equipos													

¿Se requiere de permisos de trabajo? SI NO

1.4 FIRMAS DE AUTORIZACIÓN

<p>EJECUTANTE</p> <p style="text-align: center;"><small>NOMBRE</small> </p>	<p>APROBADOS</p> <p style="text-align: center;"><small>NOMBRE</small> <small>FIRMA</small> Elizabeth Victoria R. MEJÍA </p>
<small>RESPONSABLE DE SEGURIDAD Y AMBIENTE QUE PARTICIPA EN LA ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS Y RIESGO</small>	<small>NOMBRE</small> _____ <small>CEJULA</small>

Con esta firma confirmo que he revisado todos los puntos descritos en las normas aplicables y que he autorizado a los ejecutores para realizar el trabajo.

2. TRABAJADORES INVOLUCRADOS EN LA EJECUCIÓN DEL TRABAJO

Nº	NOMBRE	CEJULA	FIRMA	NOMBRE	CEJULA	FIRMA
1	Eltona Ordoñez	4020873-9				
2						
3						
4						
5						

INSTRUCCIONES GENERALES:

En un ART debe incluirse para el trabajo de muestra para identificar los peligros y determinar la forma más segura de hacer el trabajo.

1. El ART es un requisito para el inicio de cualquier trabajo dentro de las instalaciones operativas de la EP PETROECUADOR.

2. El ART analiza los peligros y riesgos de los tareas de un trabajo específico.

3. Para todo trabajo industrial que se opere de forma normal, se deberá elaborar un ART con este fin, y se requiere su actualización cuando se haya modificado las condiciones del entorno de trabajo, equipos o materiales que intervengan en el trabajo específico.

4. Previo a la realización de todo trabajo se deberá elaborar un ART.

5. Para trabajos de Contratos, el contratista/Proveedor del proyecto cumplirá las funciones de Aprobador.

6. Un permiso de trabajo es requisito para toda actividad que se haya identificado como de alto riesgo.

Deposito en Seguridad y Ambiente Seguridad Ambiente Salud Energía Agua Otro: _____

RESPONSABLE DE SEGURIDAD Y AMBIENTE

ANEXO XVII

CÁLCULOS PARA DETERMINACIÓN DE TIEMPO ÓPTIMO

Determinación de tiempo óptimo de adsorción										
Densidad del aire (g/L)		Volumen de aire (L)		Temperatura ambiente (°C)		Diámetro del tubo (cm)		caudal (cm ³ /min)	Longitud del lecho (cm)	Masa de carbón (g)
1,145		24		35		0,6		50	1	0,15
									Longitud del Tubo (cm)	
									7	
Compuesto	Masa (ug)	Masa (g)	Fracción	Peso molecular (g/mol)	P'(mmHg)=fs	T ebullición °C	P(mmHg)	Densidad del liquido		
Benceno	0,2	0,0002	7,27673E-06	78,11	155,28	80,1	760	0,876		
Etilbenceno	0,67	0,00067	2,4377E-05	106,17	17,165	136,2	760	0,866		
Tolueno	2,1	0,0021	7,64057E-05	92,14	47,53	111	760	0,8669		
Xileno	1,9	0,0019	6,91289E-05	106,16	12,23	144	760	0,865		
Aire		27,48								
Masa total		27,48487								
Presión parcial y fugacidad (mmHg)	Volumen molar(cm ³ /mol)		(T/V)log (fs/f)	Grafica (cm ³ /100)	Carga del adsorbato (g/g carbón)	Área del lecho (cm ²)	Velocidad (cm/s)	Volumen del lecho (cm ³)		
0,005530315	89,16666667		15,36556947	12	0,10512	0,282744	2,947306869	0,282744		
0,018526857	122,5981524		7,453534207	32	0,27712	0,282744	2,947306869	0,282744		
0,058068312	106,2867689		8,441434641	30	0,26007	0,282744	2,947306869	0,282744		
0,052537996	122,7283237		5,94012439	38	0,3287	0,282744	2,947306869	0,282744		
Concentración en la alimentación (g/cm³)			Densidad del lecho (gcarbón/cm³)		Tiempo ideal de adsorción(h)					
5,65005E-06			0,530515236		6,511799969					
1,87116E-05			0,530515236		5,183522364					
5,87093E-05			0,530515236		1,550428564					
5,30015E-05			0,530515236		2,170599999					
Caída de presión										
Fracción hueca (ε)	Esféricidad	Densidad del aire(Lb/ft ³)	Viscosidad del aire(Lb/fts)	Malla 35X35 (ft)	Velocidad (ft/s)	Longitud del Tubo (ft)	ΔP/L(Lb/ft ² /ft)	Δp (inH ₂ O)		
0,35	0,73	0,0714	1,27E-05	0,00164	0,096	0,2296	1,66553426	0,071477882		
							ΔP/L(inH ₂ O/ft)			
							0,311314815			

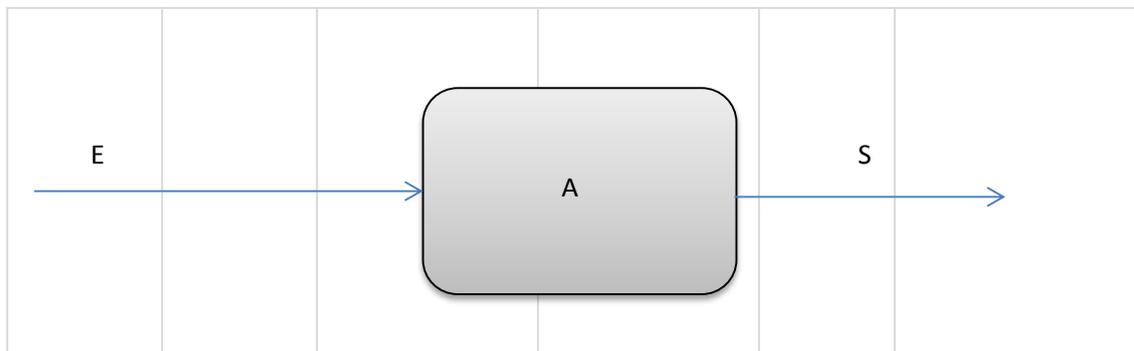
ANEXO XVIII

CÁLCULOS EFICIENCIA DE LA BOMBA

DATOS					
T	35°C				
d	1,145				
vd	0,00001885				
VIDRIO				SILICONA	
E	0			E	0,01
Di	6	0,006		Di	8
E/Di	0			E/Di	0,00125
Q	50	8,33333E-07		Q1	3,33333E-06
L	0,07			Q2	1,66667E-06
				Q3	8,33333E-07
A	2,82743E-05			A	5,02655E-05
v1	0,029473138	2,947313761		v1	0,06631456
				v2	0,03315728
				v3	0,01657864
Re	10,74166872			Re1	32,22500616
				Re2	16,11250308
				Re3	8,05625154
Correlación de Blasius				Ecuación de Haalar	
λ	5,958105921			λ_1	1,986035307
				λ_2	3,972070614
				λ_3	7,944141228
Accesorios				Accesorios	
Kpoliu	0,5			Kval	20
				kt	0,9
Hr	0,012411504			Hr1	0,037907637
				Hr2	0,022583076
				Hr3	0,028972066
		HrT (m)	0,101874283		
		Potencia (hp)	0,059989399		

ANEXO XIX

CÁLCULOS PARA BALANCE DE MASA



Balance de masa Individuales

Planta de gas

Compuesto	Masa (g)	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48							
Benceno	0,0002	27,4802	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0
Etilbenceno	0,0004	27,4804	0,0004	100	27,48	1,45558E-05	1	0
Tolueno	0,0021	27,4821	0,0027	128,5714286	27,4794	7,64134E-05	1	-2,18345E-05
Xileno	0,0012	27,4812	0,0011	91,66666667	27,4801	4,36662E-05	1	3,639E-06

Refinería

Compuesto	Entrada (g)	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48							
Benceno	0,0002	27,4802	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0
Etilbenceno	0,0012	27,4812	0,0014	116,6666667	27,4798	4,36662E-05	1	-7,27807E-06
Tolueno	0,0021	27,4821	0,0016	76,19047619	27,4805	7,64134E-05	1	1,81947E-05
Xileno	0,0046	27,4846	0,0041	89,13043478	27,4805	0,000167366	1	1,81947E-05

Campamento

Compuesto	Entrada (g)	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48							
Benceno	0,0002	27,4802	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0
Etilbenceno	0,0002	27,4802	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0
Tolueno	0,0002	27,4802	0,0004	200	27,4798	7,27797E-06	1	-7,27807E-06
Xileno	0,0002	27,4802	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0

Balance de masa Globales

Planta de gas

Compuesto	Entrada (g)	Acumulación	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48						
BTex	0,0039	0,0044	112,820513	27,4795	0,000141901	1	-1,81954E-05
Alimentación	27,4839						

Refinería

Compuesto	Entrada (g)	Acumulación	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48						
BTex	0,0081	0,0073	90,1234568	27,4808	0,000294673	1	2,91112E-05
Alimentación	27,4881						

Campamento

Compuesto	Entrada (g)	Acumulación	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48						
BTex	0,0008	0,001	125	27,4798	2,91112E-05	1	-7,27807E-06
Alimentación	27,4808						

ANEXO XX

ACTA DE ENTREGA

	ACTA DE ENTREGA	Marzo de 2016
		Sucumbios -Lago Agrio
		LABSSA- EP PETROECUADOR

A los 28 días mes de Marzo de 2016, las señoritas Orozco Valencia Eliana Paquita y Vásconez Peñafiel Amanda Elizabeth , quienes entregan “Un dispositivo piloto para adsorción de BTEX a base de carbón activado” en la provincia de Sucumbios ciudad de Lago agrio , a la **Ing. Marcia Miranda** quien recibe dicho bien, en conocimiento del **Doctor Luis Villacreces** Responsable del Laboratorio de Salud Seguridad y Ambiente LABSSA, perteneciente a EP- PETROECUADOR. Mediante el presente documento se realiza la entrega formal del equipo correspondiente al Trabajo de Titulación “Diseño y construcción de un dispositivo piloto para Adsorción de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX) a base de carbón activado para el Complejo Industrial Shushufindi”

Se deja constancia que el custodio entrante **Ing. Marcia Miranda**, se encargará de velar por el buen uso, conservación, administración, utilización y mantenimiento del dispositivo.

Para Constancia de lo actuado y en fe de conformidad y aceptación, suscriben la presente acta de entrega-recepción, a las personas que intervienen en esta diligencia.



Señorita Orozco Valencia Eliana Paquita

ENTREGUÉ CONFORME



Señorita Vásconez Peñafiel Amanda Elizabeth

ENTREGUÉ CONFORME



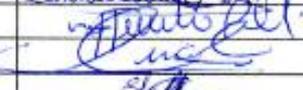
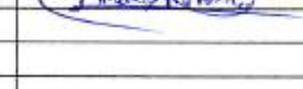
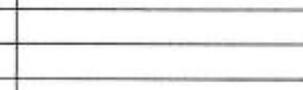
Ing. Marcia Miranda
LABSSA
RECIBI CONFORME

ANEXO XXI

ACTA DE ENTREGA

	ACTA DE ENTREGA	Marzo de 2016
		Sucumbios -Lago Agrio
		LABSSA- EP PETROECUADOR

ACTA DE REUNIÓN	
Comité o Grupo: Laboratorio LABSSA EP-PETROECUADOR	Acta No 1
Citada por: Eliana Ordoñez - Amanda Vasconez	Fecha: 22/04/2016
Coordinador: Ing. Marcia Miranda	Hora inicio: 13:30 Fin: 15:45
Secretario: Lic. Senia Plas	Lugar: Aya Analítica

PARTICIPANTES			
No.	Nombre	Cargo	Firma
1	Francisco Robayo	Técnico Líder EPP	
2	Francisco Andachi	Técnico Líder EPP	
3	Juani Aveiga	Técnico Líder EPP	
4	Karla Ramos	Pasante	
5	Marcia Miranda	Técnico Líder EPP	
6			
7			
8			
9			
10			

PUNTOS DE DISCUSION	
1	Descripción del Dispositivo Piloto.
2	Procedimiento de funcionamiento.
3	

ANEXO XXII

ANÁLISIS DEL BLANCO CARBÓN ACTIVADO



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: EP Petroecuador
Alpallana ES-86 y Av. 8 de Diciembre
Tel: 2583-060
Atn: Dr. Luis Villacreses
Proyecto: Análisis de Carbón Activado
Muestra Recibida: 26-nov-15
Tipo de Muestra: 1 Muestra de Carbón Activado
Análisis Completado: 08-dic-15
Número reporte Gruntec: 1511384-S001

Rotulación Muestra:	CH 1101	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	n.d	
No. Reporte Gruntec:	1511384-S001	
Compuestos Orgánicos Volátiles: *		
Benceno mg *	<0.000067	EPA 8260 C
Etilbenceno mg *	<0.000067	EPA 8260 C
Tolueno mg *	<0.000067	EPA 8260 C
m+p-xileno mg *	<0.000067	EPA 8260 C
O-xileno mg *	<0.000067	EPA 8260 C

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 20 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

n.d - No Determinado

a) Los resultados presentados corresponden a la totalidad del cartucho

INCERTIDUMBRE (U):

BTEX en resinas = 0.26

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.


Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

ANEXO XXIII

REPORTE DE VALIDACION DEL DISPOSITIVO



REPORTE DE ANÁLISIS

Ciente: EP Petroecuador
Alpallana E8-86 y Av. 6 de Diciembre
Telf: 2563-060
Atn: Dr. Luis Villacreces
Proyecto: Análisis de Carbón Activado
Muestra Recibida: 30-mar-18
Tipo de Muestra: 1 Muestra de Carbón Activado
Análisis Completado: 02-abl-18
Número reporte Grüntec: 1511423-S001

Informe revisado

Rotulación Muestra:	Trabajador 1	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	n.d	
No. Reporte Grüntec:	1511423-S001	
Compuestos Orgánicos Volátiles: ^{a)}		
Benceno mg *	0.0068	EPA 8260 C
Etilbenceno mg *	0.0033	EPA 8260 C
Tolueno mg *	0.0095	EPA 8260 C
m+p-xileno mg *	0.0054	EPA 8260 C
O-xileno mg *	0.0011	EPA 8260 C

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

n.d - No Determinado

a) Los resultados presentados corresponden a la totalidad del filtro.

INCERTIDUMBRE (U):

BTEX en resinas = 0.26

Cálculo: $C \pm U \cdot C$ en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

x suscrita propia

Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.